

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

GRADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS
DE COMUNICACIONES



TRABAJO DE FIN DE GRADO
DISEÑO DE RED DE COMUNICACIONES

Tutora:

Ana García Armada

Alumna:

Clara Angélica Hernández San Felipe

Leganés, Madrid.

IDEA PRINCIPAL DEL PROYECTO

El principal objetivo que se ha querido presentar en el proyecto es **diseñar** y **simular** la implementación de una **red de comunicaciones** que contenga cámaras de **videovigilancia** como sistema anti intrusos.

Además, que utilice tecnologías **inalámbricas**, que trabajen en **bandas** de frecuencia **sin licencia**, como solución óptima para las comunidades de vecinos que utilizan este servicio.

Para ello se han analizado, más concretamente, las tecnologías WiFi y WiMAX.

El resultado de este trabajo debe ser la buena implementación y el diseño de una serie de radioenlaces que consigan establecer un intercambio de datos consistente y eficiente. Para ello se utilizará la herramienta Radio Mobile, la cual analizará la cobertura y viabilidad de cada uno de los radioenlaces.

ÍNDICE

1. REDES INALÁMBRICAS. INTRODUCCIÓN.....	5
2. BANDAS DE FRECUENCIA	6
2.1. Espectro Radioeléctrico y Regulación.....	6
2.1.1. Bandas ISM.....	7
2.1.2. Bandas Frecuencias Específicas	7
3. TECNOLOGÍAS PLANTEADAS	8
3.1. WiFi	8
3.1.1. Estandarización	9
3.1.2. Arquitectura	11
3.1.2.1. Componentes Necesarios	11
3.1.2.2. Topologías	12
3.2. WiMAX.....	14
3.2.1. Estandarización	14
3.2.2. Propiedades WiMAX	15
3.2.3. Topologías	18
3.3. ¿WiFi o WiMAX?	20
4. CASO DE ESTUDIO	22
4.1. Estudio de Requerimientos	22
4.2. Resumen Evaluación Técnica	23
4.3. Información sobre Antenas.....	23
4.3.1. Parámetros Básicos.....	23
4.3.2. Interferencia.....	27
4.4. Equipamiento.....	29

4.4.1. Cámaras IP	36
4.5. Diseño Radioenlaces	40
4.5.1. Radio Mobile	41
4.5.1.1. Características Radioenlaces.....	43
5. PRESUPUESTO E IMPACTO SOCIOECONOMICO.....	61
5.1. Propuestas de mejora.....	63
6. PLANIFICACION DEL PROYECTO.....	62
7. FINAL CONCLUSIONS.....	65
7.1. Project Goals. Summary	66
7.2. Terms.....	66
7.3. Project Developing	68
7.4. Last Conclusions.....	68
7.5. Proposals for Improvements.....	69
8. ANEXO BIBLIOGRAFICO	

1. REDES INALÁMBRICAS. INTRODUCCIÓN.

Las redes inalámbricas son aquellas que se caracterizan por ser capaces de permitir la comunicación de dos o más equipos sin ningún tipo de conexión por cable. De esta manera, varios dispositivos a determinadas distancias pueden transmitirse y recibir cierta información entre ellos.

Además de la ventaja de no necesitar ningún tipo de cable para esto, son en consecuencia sencillos y con un coste de instalación pequeño.

A continuación, se muestran las diferentes **Redes Inalámbricas** que existen dependiendo del alcance de señal que alcanza cada una:

- **Área Personal o WPAN (Wireless Personal Area Network)**, permiten la transmisión de información entre dispositivos cubriendo un área de aproximadamente 10 metros. Se caracteriza por un uso de ámbito personal y tasas de transmisiones no muy altas disponibles para los usuarios.
- **Área Local o WLAN (Wireless Local Area Network)**, permiten la transmisión de información entre dispositivos cubriendo un área de aproximadamente 100 metros. Se caracteriza por tasas de transmisión más altas que la anterior de hasta aproximadamente 12 Mbps y por ser el tipo de red más utilizada por la tecnología WiFi.
- **Área Metropolitana o WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)**, permiten la transmisión de información entre dispositivos cubriendo un área de hasta varios kilómetros. WiMAX hace uso de este tipo de red inalámbrica, lo cual ya se detallará más adelante en la memoria del proyecto.
- **Área Global o WWAN (Wireless Wide Area Network)**, son aquellas con áreas de cobertura que pueden llegar a cubrir uno o más países. La tecnología WiMAX es muy usada para esta tipología de red inalámbrica.

2. BANDAS DE FRECUENCIA

2.1. Espectro Radioeléctrico y Regulación [1]

Todas las frecuencias se distribuyen por el espectro radioeléctrico, el cual es un recurso limitado y formado por ondas electromagnéticas.

Por el hecho de ser un recurso limitado se tuvieron que tomar medidas para su correspondiente utilización, ya que además se trata de un recurso de uso público. Dichas medidas se basan principalmente en la regulación del espectro, la cual surge por la necesidad de un buen uso de éste, con las menores interferencias o solapamientos posibles entre todas las bandas de frecuencias.

Por este motivo, cada sector público utiliza distintos rangos de frecuencias para proporcionar sus correspondientes servicios.

El Reglamento Radio de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), UE (Unión Europea) y ETSI (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación) son los organismos encargados de regular el espectro radioeléctrico a nivel internacional.

A nivel nacional dicha regulación la gestiona el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Dentro de la regulación del espectro, se pueden diferenciar **3 tipos de servicios** en función de la necesidad, o no, de licencias para su buen funcionamiento.

- **Común:** Son aquellos servicios que no necesitan licencia para su uso dentro del espectro radioeléctrico y, a su vez, tienen restricciones para así no causar interferencias al resto de los servicios que utilizan el espectro.
- **Privado:** Son aquellos servicios que, exclusivamente, necesitan licencia para su uso del espectro radioeléctrico.
- **Especial:** Son aquellos servicios, o usos, de carácter de entretenimiento (radioaficionados.)

Por otro lado, el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF a partir de ahora en el resto de la memoria), es un organismo que se debe tener en cuenta para la regulación del espectro radio eléctrico en España, recopila la información organizativa en la que se divide el espectro con todas las bandas de frecuencias disponibles o ya asignadas a determinados servicios. Por este último motivo, el CNAF está en continua actualización ya que, dependiendo de las decisiones del resto de organismos de ámbito internacional, puede haber muchas variaciones en continuo cambio.

Por lo tanto, podrían resumirse las funciones del CNAF en las siguientes:

- Reserva bandas de frecuencias pertenecientes al espectro para asignarlas a servicios específicos.

- Establece preferencias para aquellos servicios finales que establezcan fines sociales.
- Previsión enfocada al uso que se acabará realizando de las bandas de frecuencias.

2.1.1. Bandas ISM [2]

Dentro de las bandas de frecuencias que conforman el espectro radioeléctrico se encuentran las bandas ISM. Se tratan de aquellas frecuencias que están en un rango reservado del espectro para servicios específicos (industrial, científico, médico...) de forma internacional.

Por otro lado, es interesante para este proyecto destacar que este tipo de bandas son de uso sin licencias, son por tanto del tipo de servicio definido anteriormente por el CNAF: Común.

2.1.2. Bandas Frecuencias Específicas

Una vez se revisan las características más destacables las tablas de atribuciones de frecuencias de CNAF, para el buen desarrollo del proyecto, se consigue lo siguiente:

- **Bandas Frecuencias Tecnología WiFi:** Se establecen dos bandas de frecuencias estándar para dicha tecnología:

▪ Banda 2.4 GHz

Es más adecuada para servicios que no necesiten potencias muy altas, en consecuencia, sus alcances de conexión son relativamente cortos.

Para redes inalámbricas de ámbito local, WLAN, fueron aprobadas una serie de especificaciones, bajo la normal UN-85 determinada en el CNAF, que tenían que seguir todos aquellos que usasen dicha banda de frecuencias:

- (i) Uso de dispositivos con una potencia isotrópica radiada equivalente (P.I.R.E) máxima de 100mW, es decir, 20 dBm.
- (ii) Uso de dispositivos con necesidades de corto alcance con una P.I.R.E máxima de 10mW.

▪ Banda de 5GHz

Banda de frecuencias caracterizada por disponer de un ancho de banda mayor y menor cantidad de interferencias que la anterior banda, 2.4GHz.

También existen una serie de especificaciones para cada rango de frecuencias de dicha banda, recopiladas en la norma UN-128 determinada en el CNAF, que deben seguir todos aquellos que usen esta banda para redes inalámbricas de ámbito local, WLAN:

- (i) Banda 5150-5350 MHz: Uso restringido a interior de recintos. Máxima P.I.R.E de 200mW.
 - (ii) Banda 5470-5725 MHz: Máxima P.I.R.E de 1 W o 500mW, esto último depende de si se usan o no técnicas de control de potencia (TCP).
 - (iii) Banda 5725-5875 MHz: Se usa sobre todo para ámbitos industriales, científicos y médicos donde la máxima P.I.R.E utilizada es de 25mW.
- **Banda de Frecuencias Tecnología WiMAX:** Se establecen dos bandas de frecuencias estándar para dicha tecnología:
- **Banda 2.5 GHz**
 - **Banda 5.8 GHz:** Banda de frecuencias que no necesita licencia para su uso, por tanto, es la que interesa para este proyecto.
- El rango de frecuencias que encaja con las características de este proyecto es la siguiente:
- 5470-5725 MHz: P.I.R.E inferior o igual a 1W. Como la banda de frecuencias WiFi también ha de contar con técnicas de control de potencia, TCP. En el caso de no usarlas, contará con una P.I.R.E de 500mW.

3. TECNOLOGÍAS PLANTEADAS

3.1. WiFi.

Se trata de una tecnología de carácter inalámbrico cuya finalidad es la conectividad entre varios dispositivos usando la radio frecuencia y así conseguir transmisión de información entre ellos.

Las redes que utilizan la tecnología WiFi, como su base de comunicación, son aquellas que se basan en equipos o dispositivos que se conectan a internet y que deben contener una o varias antenas para distribuir su señal inalámbricamente.

Los equipos, dispositivos o terminales que reciben dicha señal y con ello toda la información, han de estar capacitados para implementar el mismo estándar que el equipo transmisor.

Además, como es lógico, todos los equipos que reciben la señal deben ser compatibles con el estándar correspondiente al equipo transmisor de dicha señal para que así pueda establecerse la conexión y el flujo de información entre las dos partes. Cabe destacar que cuanto más cerca estén ambos dispositivos mejor será dicha conexión.

3.1.1. Estandarización [3]

Los estándares correspondientes a la norma IEEE 802.11, desarrollados en la asociación WiFi Alliance, cuya función no es otra que normalizar la situación y proporcionar un sistema común de interoperabilidad.

3.1.1.1. Limitaciones

A continuación, se detallan algunas de las limitaciones que comparten todas las versiones pertenecientes a la norma IEEE 802.11:

- **Alcance o Distancia de Cobertura:** Factor fundamental para establecer una buena conexión entre dispositivos, depende sobre todo de dónde están ubicados dichos dispositivos y de todos los obstáculos que se encuentren, además de las condiciones meteorológicas que pueden causar muchas interferencias entre los puntos de transmisión y recepción de la comunicación.

Dependiendo de todos estos parámetros, el factor del alcance en una conexión puede ser mucho mayor o mucho menor (casi nula si se dan condiciones muy malas).

- **Calidad de servicio, QoS:** Factor por el cual los protocolos WiFi no se preocupan mucho ya que, dichos protocolos, no proporcionan ningún tipo de mecanismo que sea capaz de priorizar tráfico de información más importante que otro tipo de tráfico menos relevante, de manera que se estableciera un orden de prioridades.

Por este tipo de limitación, en el estándar 802.11e se incluyeron mejoras.

- **Seguridad:** Factor que, en los principios, era casi inexistente en la tecnología WiFi ya que no proporcionaba mecanismos robustos y suponía una gran limitación a la hora de querer mantener conexiones seguras con tráfico de datos sensibles. Se incluyeron mejoras en el estándar 802.11i.

3.1.1.2. Estándar 802.11 b

No se trata de la primera especificación del estándar 802.11, ya que los estándares WiFi a y el WiFi b fueron desarrollados casi simultáneamente.

Debido a los problemas con la frecuencia que se le asignó al estándar 802.11 a (5GHz) el estándar 802.11 b fue el más relevante del momento funcionando a una frecuencia de trabajo de 2.4 GHz dentro del espectro radioeléctrico, la misma que utilizaba el estándar original.

Por operar en la frecuencia más utilizada de aquellos tiempos, especificación nacida en 1999, tuvo más éxito que otras de las versiones del estándar 802.11.

Por otro lado, cabe destacar de esta especificación que alcanza velocidades de transmisión de hasta 11 Mbps utilizando una modulación QPSK.

3.1.1.3. Estándar 802.11 a

Como se ha comentado en el apartado anterior, este estándar fue creado de manera simultánea al estándar 802.11 b.

La diferencia entre ambos es sobre todo la banda de frecuencias a la que operan. En este caso, la especificación 802.11 a funciona en la frecuencia de 5GHz. Al tratarse de dos especificaciones con diferentes frecuencias de trabajo son de carácter incompatible entre sí y, en consecuencia, con otros componentes de fabricación.

Trabajar a frecuencias más altas tiene tanto ventajas como inconvenientes. Por un lado, con esta especificación trabajando a la frecuencia del espectro radioeléctrico 5GHz, se obtenían mayores velocidades llegando hasta a 55 Mbps. Sin embargo, al tratarse de una frecuencia más alta que 2.4 GHz, tiene menor alcance.

3.1.1.4. Estándar 802.11 g

Con el tiempo se fueron desarrollando más especificaciones que añadían mejoras sobre los dos anteriores.

Entre 2002 y 2003 surgió la versión 802.11 g que, aunque mantiene alguna de las características, añade mejoras con respecto a los dos anteriormente explicados.

Con respecto al estándar 802.11 b, el estándar 802.11 g mantiene la operabilidad sobre la banda de frecuencias 2.4 GHz, pero añade una nueva modulación que

permitirá un aumento de la velocidad llegando a casi 55 Mbps, 64 QAM. En este caso no se mantiene la incompatibilidad entre versiones ya que esta nueva especificación cuenta con adaptadores de red inalámbricos para así poder tratar con dispositivos que cuenten con la especificación 802.11 b.

Con respecto al estándar 802.11 a, el estándar 802.11 g mantiene el mismo tipo de modulación, pero en este caso, al operar en la banda 2.4 GHz ya no existe el problema de incompatibilidad con algunos fabricantes de dispositivos y, además, se podían conseguir de manera más económica.

Gracias a todas las mejoras que se añadieron en este estándar, se mantuvo durante muchos años en el mercado hasta que llegó la siguiente versión.

3.1.1.5. Estándar 802.11 n

La IEEE diseñó, alrededor del 2009, esta versión para mejorar la cantidad de ancho de banda, llegando hasta los 300 Mbps, respecto a la especificación 802.11 g ya existente. Este objetivo se consiguió gracias al uso de múltiples señales y antenas, mejora conocida como tecnología MIMO.

Cabe destacar de esta especificación que puede funcionar tanto en la banda de frecuencias 2.4 GHz como 5 GHz, siendo de esta manera compatible con todas las versiones anteriores de estándares 802.11.

Otras de las mejoras que se desarrollaron en 802.11 n es el aumento de ancho de banda en los canales, pasando de los anteriores 20 MHz a los nuevos 40 MHz. Esto causó que la velocidad de transmisión inalámbrica llegara a ser el doble, 600 Mbps.

Las modulaciones que se utilizan en esta especificación son 64 QAM y OFDM.

3.1.1.6. Estándar 802.11 ac

Versión cuya mejora principal es el uso de tecnología de banda dual, es decir, admite conexiones simultáneas de las bandas 2.4 GHz y 5 GHz, por lo que la compatibilidad con el resto de las versiones del estándar 802.11 es segura.

Para la banda de frecuencias de 5 GHz tiene una velocidad de transmisión inalámbrica de hasta 1300 Mbps, para la banda de 2.4 GHz aproximadamente 450 Mbps.

Tal crecimiento de ancho de banda implica a la modulación usada, en este caso se pasa de usar 64QAM en los estándares anteriores a 256QAM, aumentando a su vez la cantidad de información a transmitir.

Por último, la mejora que destaca sobre cualquier otra dentro de esta versión del estándar 802.11 es la llamada técnica Beam Forming, la cual consiste en utilizar un único punto de acceso que normalmente se usa como el transmisor de la conexión desde donde se envía una misma señal a distintos puntos de acceso correspondientes a un mismo receptor y dependiendo de la señal que reciba

como feedback el transmisor elige un camino u otro para llegar al destino requerido.

Otro de las mejoras es la llamada Beam Forming, se trata de una técnica que utiliza un mismo punto de acceso (transmisor) desde el que envía la misma señal a diferentes accesos, correspondientes a un mismo receptor, y en función de la señal que reciba como feedback elige un camino u otro para llegar al destino final.

3.1.2. Arquitectura

3.1.2.1. Componentes Necesarios

Existen elementos básicos de arquitectura de redes WiFi con los que se pueden hacer múltiples diseños de red diferentes, dichos elementos son:

- **Punto de Acceso, Access Point (AP):** Elemento fundamental para poder establecer una red WiFi. A su vez, el punto de acceso contiene otros elementos tales como un equipo radio, antenas externas e internas, puertos de red para las conexiones cableadas, software específico...

La función fundamental del punto de acceso es ser el medio de comunicación entre todos los dispositivos, equipos y servidores que participen en la red.

Uno de los inconvenientes de los puntos de acceso es que, dependiendo del fabricante, se diseñan con unas especificaciones diferentes y esto puede dar lugar a problemas en una misma red que tenga más de un punto de acceso. Por lo tanto, es un detalle para tener en cuenta en los diseños de red.

- **Adaptadores Inalámbricos de Red:** Se trata de unos dispositivos, también llamados tarjetas de red, cuya función principal es la de comunicarse con más adaptadores o con uno o varios puntos de acceso para, así, proporcionar la información de qué dispositivos están conectados entre sí en la red inalámbrica.
- **Amplificadores y Antenas adicionales:** Elementos necesarios para mejorar las señales en la red WiFi.

3.1.2.2. Topologías

Podemos agrupar las diferentes topologías en función del tipo de equipamiento que compone la red.

- **Modo Ad-Hoc o Modo sin infraestructura:** Este tipo de topología se caracteriza por tener una configuración que sólo necesita tarjetas de red o dispositivos inalámbricos para poder conectar los equipos a la red, el funcionamiento de dicha configuración consiste en un flujo de información

entre nodos donde uno de ellos reenvía dicha información a otros, existiendo de esta manera una participación completa en el encaminamiento.

Pero, por otro lado, el modo Ad-Hoc presenta un inconveniente que se basa en la cantidad de numero de saltos totales que recorre el flujo de información hasta que llega a su destino, ya que cuantos más saltos se den más tiempo se pierde y más aumenta la probabilidad de pérdidas de información.

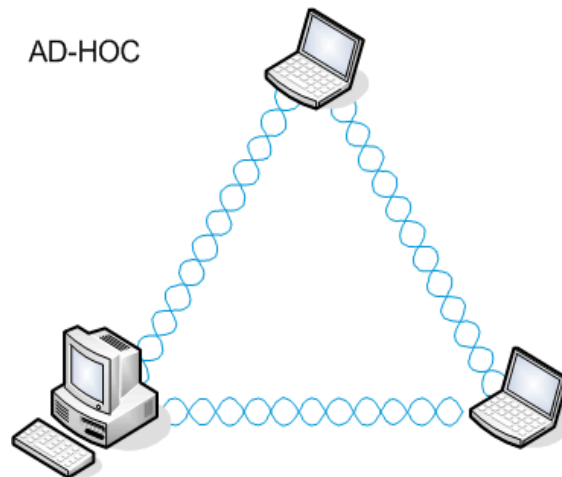


Imagen 1. Topología Modo sin infraestructura.

- **Modo Infraestructura:** Este tipo de topología se caracteriza por tener una configuración en la que, además de necesitarse tarjetas de red, se necesita uno o más puntos de acceso al cual se conectan todos los dispositivos mediante enlaces inalámbricos.

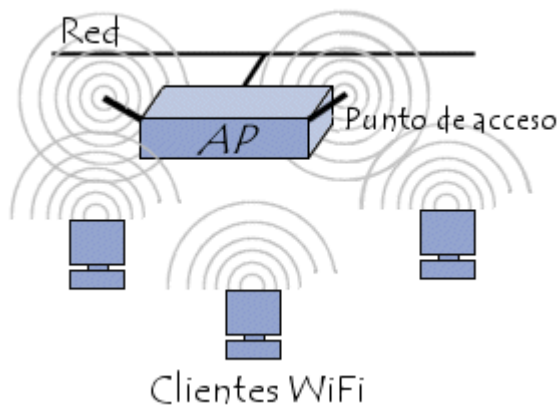


Imagen 2. Variedad 1 Topología Modo Infraestructura.

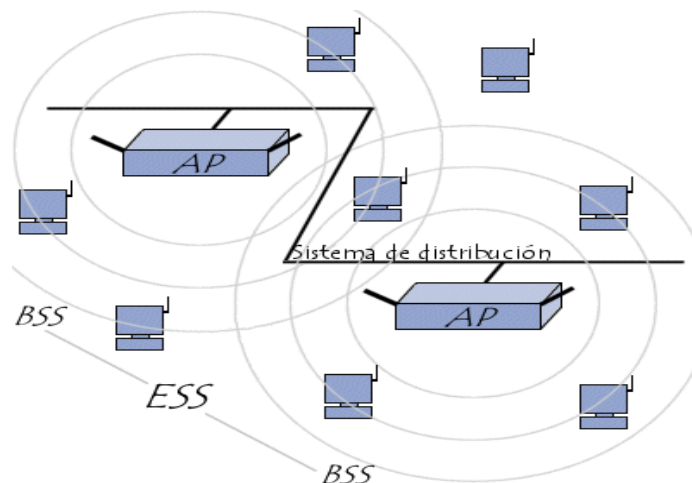


Imagen 3. Variedad 2 Topología Modo Infraestructura.

En función del tipo de diseño que se requiera, se elegirá un tipo de topología u otro. Para configuraciones simples de unos cuantos equipos, la topología Ad-Hoc es la ideal, sin embargo, para diseños de redes más amplias y complejas es más recomendable el tipo Modo Infraestructura ya que proporciona un mayor alcance entre equipos gracias a disponer de uno o más puntos de acceso.

3.2. WiMAX. [4]

Se trata de un estándar de transferencia inalámbrica de datos cuyo objetivo principal es cubrir las redes de acceso metropolitanas, WMANs.

En este apartado se describirán las características más destacables de esta tecnología para así, comparándola con la tecnología WiFi, poder decidir bien qué alternativa es la mejor para el proyecto

Por otro lado, cabe destacar que existe una organización llamada WiMAX Forum cuyo objetivo es certificar la interoperabilidad entre todos los equipos del estándar 802.16, que es con el que trabaja la tecnología WiMAX, y así asegurar que todos aquellos terminales sin disposición de dicha certificación no mantendrán esa interoperabilidad respecto al resto de los equipos WiMAX.

3.2.1. Estandarización

En este apartado se hablará del estándar 802.16, correspondiente a la tecnología WiMAX. Su principal objetivo era proporcionar servicio sólo para enlaces fijos con visión directa o línea de visión, LOS (Line Of Sight), entre el emisor y el receptor, en determinadas frecuencias y un alcance de hasta 50 Km de cobertura.

Se denomina línea de visión, LOS, a un enlace radio que dispone de una visibilidad directa, es decir, entre el dispositivo que transmite y el que recibe el

contenido informativo, no hay obstáculos que intercedan en la comunicación y suele caracterizarse por obtener una muy buena calidad de radioenlace.

Más adelante, en las versiones siguientes del estándar 802.16, se empezó a mejorar en este aspecto y ya se desarrollaron comunicaciones entre equipos que no disponían de línea de visión directa sino todo lo contrario, NLOS (Non Line Of Sight), que son aquellos enlaces que tienen entre ellos una serie de obstáculos tales como árboles, edificios..., y por tanto este avance ayudó a que dichos obstáculos ya no fueran un problema.

Por otro lado, en el estándar se fueron añadiendo mejoras de calidad de servicio gracias tanto a mecanismos nuevos de control y gestión de errores como a modulaciones nuevas, basadas en Multiplexación Ortogonal por División de Frecuencias, OFDM y OFDMA.

En las diferentes actualizaciones del estándar 802.16 se tuvieron en cuenta unos detalles u otros:

- **802.16 b:** Actualización que tuvo muy en cuenta la necesidad de seguir mejorando la calidad de servicio de los radioenlaces y la priorización de determinados flujos de información respecto a otros, tanto para flujos de datos como de voz en una determinada banda de frecuencias.
- **802.16 c:** En esta actualización se siguió con las mejoras de la anterior versión, pero para banda de frecuencias más altas.
- **802.16 d:** Actualización que se centró sobre todo en las funcionalidades de mejoras para superar las interferencias provocadas por el multitrayecto. Consiguiéndose así una calidad en sus conexiones mucho mayor a las anteriores versiones.
- **802.16 e:** Actualización del estándar que se basa en todas las mejoras de los anteriores pero cuyo objetivo principal es la portabilidad para clientes móviles y que consigan conectarse sin ningún problema a la red WiMAX.

Las actualizaciones posteriores, **802.16 f** y **802.16 g**, se enfocaron más en administrar las interfaces de operaciones fija y móvil.

3.2.2. Propiedades de WiMAX.

En este apartado se destacan los puntos más destacables de la tecnología WiMAX

- **Modulación por División de Frecuencias Ortogonales, OFDM:** La modulación OFDM se basa en dividir la señal total en varias señales, dividiendo a partes iguales el ancho de banda de la señal total.

Otra de las características que hace a esta modulación mejor que a otras es que permite operar en enlaces de visión no directa, NLOS, a la

tecnología WiMAX y por tanto se obtiene una mejor calidad de servicio y mayor robustez en las comunicaciones.

Por otro lado, gracias a que las frecuencias son ortogonales entre sí, se consiguen eliminar de manera más eficaz las interferencias existentes entre canales y, de esta manera, se consigue aumentar el área de cobertura de las conexiones.

- **Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales, OFDMA:** Se trata de una modulación en la cual un determinado grupo de usuarios puede compartir un mismo canal y cuya función principal es dividir un canal en diferentes subportadoras, agrupadas en función de las diferentes necesidades de los usuarios.

Una de las ventajas más destacables de OFDMA sobre OFDM es que, OFDMA puede ofrecer modulaciones adaptables para cada usuario.

- **Modulación y Codificación Adaptativa, AMC:** WiMAX proporciona sistemas AMC cuyo objetivo principal es la adaptación a canales variantes en tiempo, consiguiendo así un aumento del caudal de información. Además, esta técnica consigue, gracias a un sistema de detección y corrección de errores, mejoras en la calidad del sistema de comunicaciones inalámbrico.
- **Protocolos Automatic Repeat Request, ARQ:** Su base fundamental es un sistema de control de errores que identifica los mensajes que no han llegado bien al receptor y los reenvía, de esta manera aumenta la seguridad en las comunicaciones WiMAX. Para identificar dichos paquetes de información erróneos, este sistema utiliza los denominados mensajes ACKs (acknowledgements, asentimiento) o NACKs (non acknowledgements, sin asentimiento). Estos paquetes son la respuesta que da el receptor al transmisor para comunicar o confirmar la llegada de ciertos paquetes de información, si llegan bien los paquetes, el receptor envía un ACK al emisor y en el caso contrario enviará un mensaje NACK para que así el transmisor sepa que debe volver a enviar dicho mensaje erróneo.

Incluso en el caso de que el transmisor no reciba, en un cierto periodo de tiempo, ningún mensaje de confirmación por parte del receptor de un determinado paquete, el emisor reenviará el correspondiente paquete al receptor ya que puede haberse perdido.

- **Modulación en el Tiempo (TDD) y Frecuencia (FDD)**
 - **FDD:** Modulación usada fundamentalmente en sistemas cuyas bandas de frecuencia son con licencia, su funcionamiento se basa en diferenciar por bandas de frecuencias al canal ascendente del descendente y así evitar que exista solapamiento de canales.

- Ventaja: Consigue mejor calidad en sus comunicaciones que la modulación TDD.
- Inconveniente: Implementación más cara y complicada debido a la necesidad de licencia para el acceso al espectro de frecuencias.
- **TDD:** Modulación usada principalmente en sistemas cuyas bandas de frecuencias son libres, es decir, sin licencia. En este caso, el canal ascendente es el mismo que el descendente por lo que no existe ninguna diferenciación por bandas de frecuencias, pero sí que existe una diferenciación de tiempo entre los dos sentidos de la comunicación.
 - Ventajas: TDD ofrece una mayor eficiencia espectral con respecto a la modulación FDD. Además, su implementación es mucho más simple ya que no necesita la obtención de ninguna licencia para el acceso al espectro.
 - Inconvenientes: Debido a la diferenciación de tiempo entre los dos sentidos de las comunicaciones, (ascendente y descendente), existe un retardo que empeora la calidad de los enlaces que utilicen TDD frente a FDD.
- **Técnicas Avanzadas Antenas:** La tecnología WiMAX permite añadir antenas tanto a los sistemas de transmisión como a los de recepción para así poder aumentar las tasas de las conexiones. De esta manera, se consigue aumentar la calidad de los enlaces de comunicaciones, como la eficiencia espectral como la capacidad de todo el sistema.

Una de las técnicas avanzadas de antenas para conseguir mayores tasas de conexión en los enlaces es la denominada **Multiple Input Multiple Output, MIMO**, consiste en aprovechar las reflexiones de señales de tal manera que consiguen aumentar dicha tasa de transmisión y, además, reduce la tasa de errores de las comunicaciones. Todo esto se consigue gracias al manejo de las ondas transmitidas y recibidas por las antenas que forman parte de la red WiMAX.

Esta característica se trata de una de las principales ventajas del WiMAX con respecto a otras tecnologías inalámbricas, ya que no se degrada la señal por las reflexiones ni se pierde calidad de enlace. Hace de aparentes debilidades su fortaleza.

- **Seguridad:** La tecnología WiMAX se caracteriza por tener un sistema de seguridad muy fiable y robusto gracias a proporcionar mecanismos de autenticación y cifrado. Todo esto se debe a que dicha tecnología fue diseñada para redes de ámbito metropolitano donde hay un gran número

de usuarios en este tipo de redes, por lo que la seguridad debe ser algo que se garantizase.

Esta característica es fundamental y determinante a la hora de elegir un tipo de tecnología u otra ya que mantener una red segura es mantener todos los datos de los usuarios que participan en ella seguros (contraseñas, datos bancarios, información personal de usuarios...).

Un factor importante a destacar de la seguridad WiMAX es que su acceso al medio no es aleatorio, es decir, las conexiones son controladas por la estación base ya que es el sistema que está autorizado para ello.

3.2.3. Topologías

- **Punto a Punto:** Topología que se caracteriza por la comunicación exclusiva entre dos nodos, es decir, su arquitectura se basa en un transmisor y un solo receptor de la información.

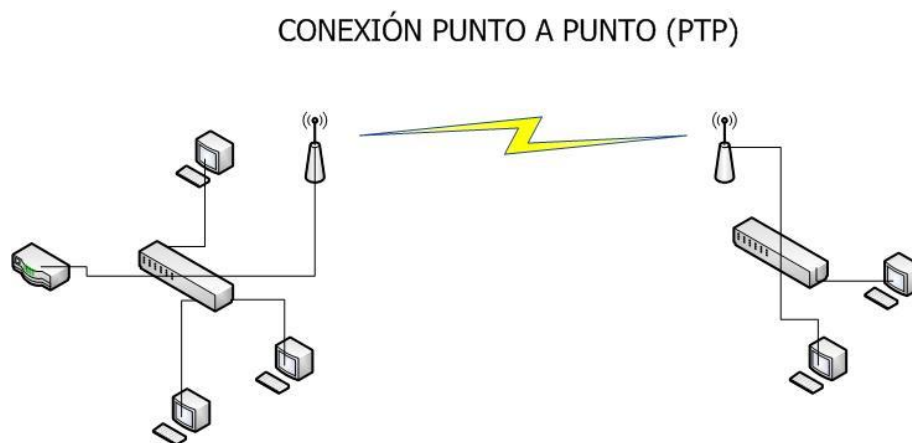


Imagen 4. Topología PTP.

- **Punto a Multipunto:** Se caracteriza por conectar un transmisor a diferentes estaciones secundarias que actúan de receptores de la información. Se trata de una topología que soporta conexiones para enlaces LOS como NLOS, por lo que es muy usada en las comunicaciones que necesitan una mayor calidad y robustez.

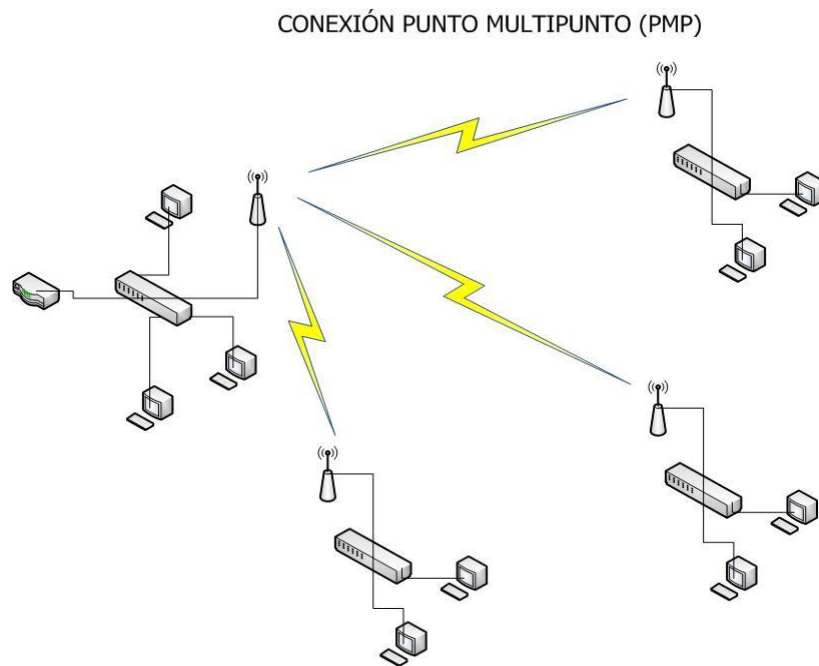


Imagen 5. Topología PMP.

- **Topología mallada:** Topología en la que se interconectan diferentes equipos, es decir, varios equipos secundarios pueden conectarse entre sí haciendo que la comunicación, aunque tarde más en llegar al destino, sea más segura y si falla un enlace de transmisor a receptor los paquetes de información no se pierdan puesto que hay más enlaces alternativos por los que transmitir dicha información.

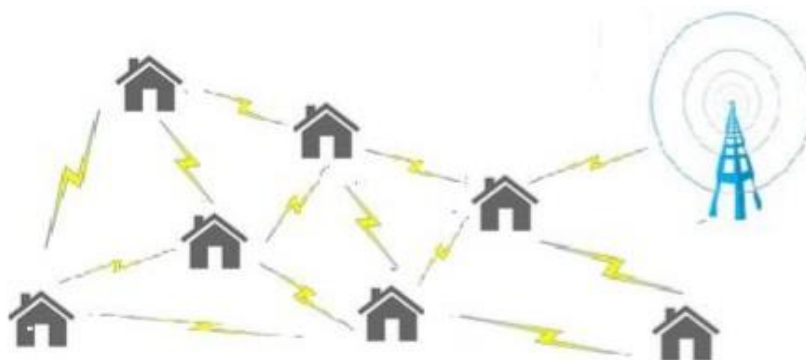


Imagen 6. Topología Mallada

3.3. ¿WiFi o WiMAX?

Después de analizar ambas tecnologías, ver todas las fortalezas y debilidades, ventajas e inconvenientes, características, etc. En este apartado se realiza la elección, por comparativa, de la tecnología que para este proyecto será la más adecuada.

Los factores más determinantes para dicha elección son el alcance, la seguridad de la red y la calidad de los enlaces.

➤ **ALCANCE**

- **Tecnología WiFi**

El alcance depende de la potencia que ofrezca el enlace de conexión y este a su vez depende de la banda de frecuencias a la que se esté operando. En la tecnología WiFi, en la banda de 2.4GHz se consigue un mayor alcance o área de cobertura que con la banda de 5GHz ya que cuanto menos frecuencia mayor alcance.

Para ambas bandas existe una limitación de potencia, que está determinada por la P.I.R.E ¹, que en este caso es de 20 dBm, es decir, unos 100 mW aproximadamente.

- **Tecnología WiMAX**

En el caso de utilizar la banda 5.4 GHz se obtiene una limitación de aproximadamente 30 dBm de P.I.R.E, 1 W, si por el contrario se utiliza la banda de 5.8 GHz la limitación está en 36 dBm, 4 W de potencia aproximadamente.

➤ **SEGURIDAD**

- **Tecnología WiFi**

La seguridad de la tecnología WiFi ha ido mejorando en cada nueva versión del estándar 802.11, basando sus técnicas en protocolos de seguridad que utilizan mecanismos de cifrado de tramas de datos, claves de identificación... Los protocolos WEP, WPA, WPA/WPA 2 han sido hasta el momento los encargados de proporcionar todas estas medidas de seguridad a la tecnología, pero el ultimo protocolo que nace en 2019, WPA 3, es el encargado de introducir todas las características de los anteriores protocolos y además se caracteriza por incluir nuevas técnicas como el intercambio de claves, para proteger aquellas conexiones que no dispongan de una buena contraseña, evita el denominado ataque de diccionario, utilizado por hackers para averiguar contraseñas. También incluye mejoras para evitar escuchas no deseadas.

Como se puede apreciar, se trata de una tecnología bastante robusta en seguridad.

- **Tecnología WiMAX**

La seguridad de la tecnología WiMAX se basa en poder proporcionar privacidad a cada usuario que pertenece a la red. Funciones tales como la autenticación o el cifrado hacen que WiMAX sea considerada una de las tecnologías más robustas en seguridad. La autenticación evita que otros usuarios sin permisos entren en la red. Estas autenticaciones están conformadas por la identidad y contraseña personalizadas.

Por otro lado, gracias a mecanismos de cifrado se consigue que la información que se distribuye en las conexiones de los usuarios sea privada y esté protegida.

Debido a que la tecnología WiMAX fue diseñada para redes WMAN, de ámbito metropolitano, ésta ha de proporcionar una mayor seguridad frente a otras tecnologías que interconectan menos usuarios.

➤ **CALIDAD**

- **Tecnología WiFi**

Como se ha visto anteriormente, una de las limitaciones de esta tecnología es su calidad de servicio, ya que es un factor por el cual los protocolos WiFi no se preocupan mucho, es decir, no proporcionan ningún tipo de mecanismo que sea capaz de priorizar tráfico de información más importante que otro tipo de tráfico menos relevante, de manera que se estableciera un orden de prioridades.

- **Tecnología WiMAX**

Sin embargo, la calidad de la tecnología WiMAX se ve favorecida por algunas de sus propiedades también vistas, y explicadas, anteriormente. Tales como los tipos de modulación (OFDM, TDD y FDD...) o técnicas avanzadas de antenas que favorecen a este aspecto.

Después de analizar todos estos puntos, se concluye con:

Son tecnologías válidas para la realización de este proyecto, sin embargo, **se ha elegido la tecnología WiMAX**. Además, al tratarse de una red de comunicaciones cuyos puntos están distribuidos por distintos lugares dentro de la comunidad de Madrid, como se ha comentado anteriormente, dicha

tecnología está diseñada para redes de **ámbito metropolitano** abarcando así un mayor número de usuarios.

4. CASO DE ESTUDIO

4.1. Estudio de Requerimientos

Proyecto basado en los requisitos que requerirá una empresa de seguridad que quiere desplegar una red de comunicaciones que sea capaz de establecer una serie de radioenlaces que proporcionen un servicio mediante cámaras IP.

El principal requerimiento es proporcionar dicha red de comunicaciones sin la ayuda ni el uso de operadores móviles, sino mediante radioenlaces que trabajen en una banda de frecuencia libre o sin licencia.

Otros de los requerimientos que se han de conseguir para el proyecto son los siguientes:

- Red caracterizada por su ancho de banda, seguridad, gran alcance, estabilidad....
- Topología → Malla.
- Obtener un servicio seguro, robusto y estable.
- El proyecto debe ser coherente y respetar la normativa española.
- Se establece un presupuesto por parte de la empresa que no debe superar los 30.000 €.
- Las comunidades de vecinos que serán vigiladas por dicha empresa de seguridad son un total de 6 y se ubican en la zona Sur de de la Comunidad de Madrid

4.2. Resumen Evaluación Técnica

- Red de Comunicaciones de tipo inalámbrica.
- Uso de radioenlaces que trabajen en frecuencias de bandas no licenciadas o libres.
- Sin uso ni ayuda de ningún tipo de operadora móvil.
- Tecnología a utilizar WiMAX.
- Elementos necesarios en la implementación de la red de comunicaciones:
 - Base de Operaciones Central.

- Equipos independientes (de usuario) / comunidad de vecinos.

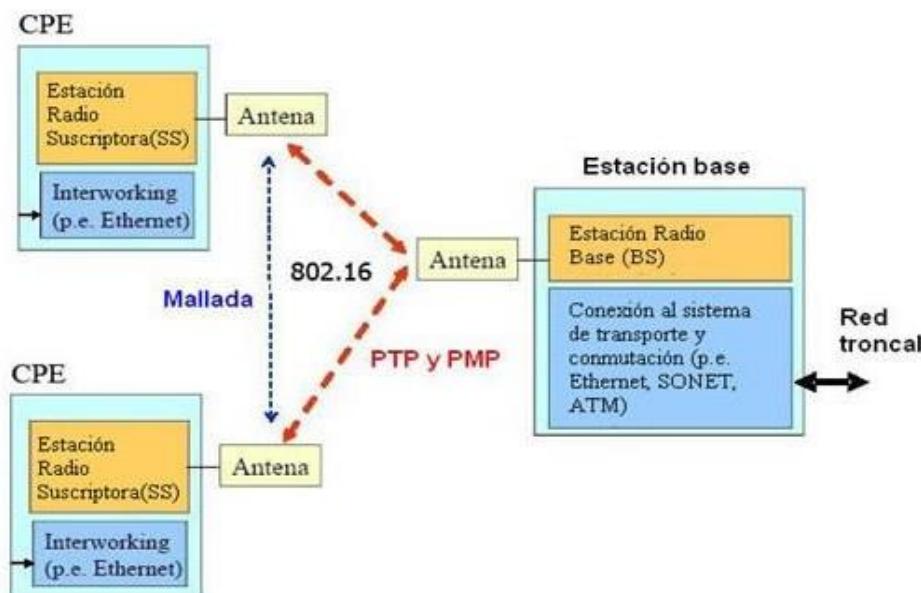


Imagen 7. Elementos Necesarios Red WiMAX

4.3. Información sobre Antenas [5]

Las antenas son dispositivos cuya finalidad es transmitir y recibir información a largas distancias a través de ondas electromagnéticas mediante el medio del aire. Las antenas son el elemento principal de las comunicaciones inalámbricas.

Dependiendo de las características del medio o por el tipo de comunicación que se requiera, existen diferentes tipos de antenas que se adaptan a cada caso para proporcionar la mejor calidad de servicio y cobertura posible.

4.3.1. Parámetros Básicos

Una antena se puede caracterizar por diferentes parámetros y dependiendo de cómo sean, la antena dispondrá de un rendimiento u otro. Dichos parámetros son los siguientes:

- **ROE (Razón o Relación de Ondas Estacionarias):** Se trata de un parámetro que se refiere a la relación entre la energía enviada por la antena transmisora y la energía que es capaz de reflejar el dispositivo receptor otra vez a la antena transmisora. Cuanta menos reflexión exista mejor será la calidad del enlace ya que esto indica que no se pierde ni se reduce la señal emitida.

➤ **Polarización:** Parámetro cuya finalidad es describir en qué orientación se mueven los campos electromagnéticos que emite o recibe una antena. Existen diferentes tipos:

- **Vertical:** Se trata de aquella polarización en la que la antena genera un campo perpendicular con respecto a la superficie terrestre.
- **Horizontal:** Se trata de aquella polarización en la que la antena genera un campo paralelo respecto a la superficie terrestre.
- **Circular:** Se trata de aquella polarización en la que la antena genera un campo que rota de vertical a horizontal o viceversa, creándose así un movimiento circular.
- **Elíptica:** Se trata de aquella polarización en la que la antena genera un campo que tiene movimiento circular, pero con fuerzas diferentes en sus direcciones.

Para que exista una mayor calidad en la comunicación entre antenas y, a su vez, se reduzca la pérdida de ganancia en la misma, ambas antenas han de tener el mismo tipo de polarización.

➤ **Diagrama de radiación:** Se trata de aquel parámetro que representa gráficamente el tipo de radiación de la antena en todas las direcciones del espacio.

A su vez, el diagrama de radiación consta de una serie de **parámetros** que determinan el tipo de radiación de una antena:

- **Lóbulo principal:** Se trata de aquel punto de máxima radiación de la antena.
- **Lóbulos secundarios:** El resto de puntos que no son el máximo de radiación.
- **Lóbulos laterales:** Se trata de aquellos puntos del diagrama de radiación de la antena que se encuentran al lado del lóbulo principal, suelen ser de mayor altura que los lóbulos secundarios, pero de menor altura que el principal.
- **Lóbulo posterior:** Se trata de aquel punto que guarda la dirección contraria al principal.
- **Nivel de lóbulo Lateral:** Se trata de aquel parámetro del diagrama de radiación de una antena que relaciona la distancia que hay entre el lóbulo secundario más alto o destacable y el lóbulo principal del diagrama.

Tanto las radiaciones de los lóbulos secundarios como la radiación del lóbulo posterior pueden ser causas de interferencias en los enlaces de las comunicaciones inalámbricas entre antenas.

Diagrama de radiación con sus diferentes elementos o parámetros principales:

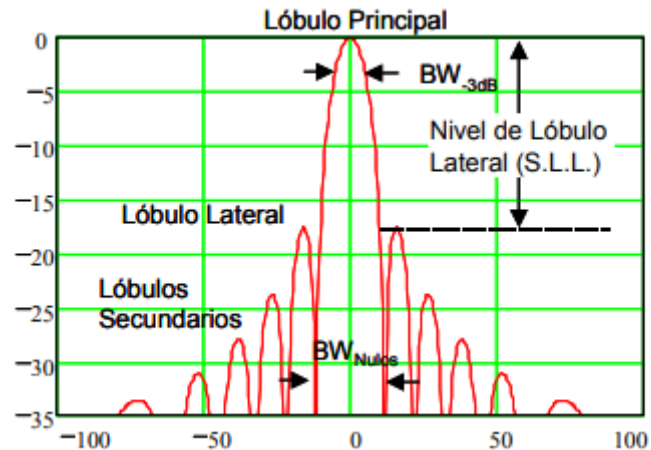


Imagen 8. Parámetros Diagrama de Radiación.

Por otro lado, dependiendo del tipo de diagrama de radiación se podrá hacer una **clasificación** de antenas:

- **Isotrópicas:** Son aquellas antenas cuyo punto de radiación irradia energía de manera uniforme en todas las direcciones del espacio, quedando un diagrama con forma esférica como el de la imagen que se muestra a continuación:

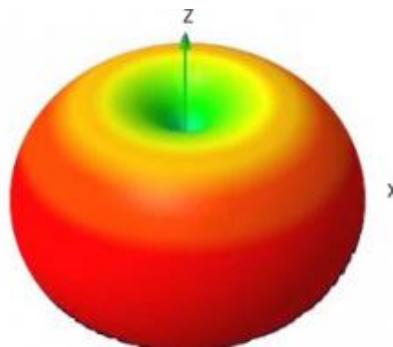


Imagen 9. Diagrama Radiación Antena Isotrópica.

Es importante destacar que este tipo de antenas no existe en la realidad ya que es un caso totalmente ideal que no sería posible en la práctica, pero se utiliza para comparar y analizar el funcionamiento del resto de tipos de antenas, es por tanto una referencia para analizar al resto.

- Omnidireccionales: Son aquellas antenas cuyo objetivo o finalidad es transmitir o recibir la mayor cantidad de radiación posible en todas las direcciones del espacio.

Este tipo de antenas son muy útiles cuando su función quiere ser transmitir energía a múltiples antenas receptoras o cuando la situación física del elemento receptor no se conoce y, por tanto, se necesite radiar en diferentes direcciones para poder tener más posibilidades de llegar correctamente a su correspondiente receptor.

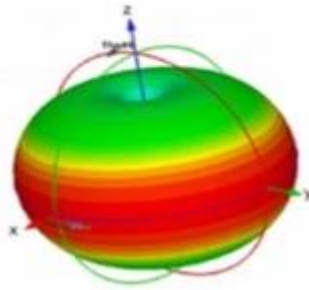


Imagen 10. Diagrama Radiación Antena Omnidireccional

- Direccionales: Son aquellas antenas cuya función es transmitir o recibir energía en direcciones específicas del espacio. De esta manera, habrá otras direcciones del espacio en las que no habrá radiación.

Este tipo de antenas son muy útiles para aquellos casos donde se quiera transmitir datos a un receptor específico y se sepa su ubicación física, por lo que la antena puede enfocar la radiación en esa dirección, de esta manera evita que otros posibles receptores intercepten la misma señal y puedan recibir la información.

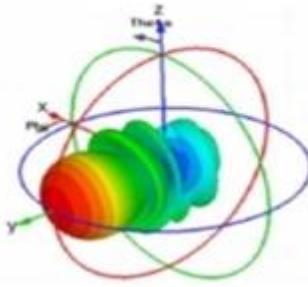


Imagen 11. Diagrama Radiación Antena Direccional.

- **Sectoriales:** Son aquellas antenas cuya radiación podría establecerse entre las antenas omnidireccionales y las antenas direccionales.

Son antenas con un mayor alcance de cobertura que las antenas omnidireccionales, pero, por otro lado, no distribuyen su energía en todas las direcciones del espacio ya que son algo más específicas. Sin embargo, a pesar de que concentran más la energía a determinadas direcciones, no llegan al alcance ni directividad de las antenas directivas.

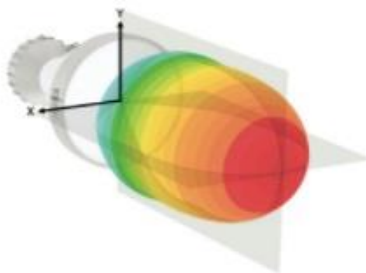


Imagen 12. Diagrama Radiación Antena Sectorial.

- **Ganancia:** Caracteriza la amplificación de la señal de la antena. Dicha amplificación es la relación entre la intensidad de campo que es capaz de proporcionar una antena determinada con respecto a la intensidad que produce una antena isotrópica en un punto determinado.

Que una antena tenga una ganancia alta significa que dicha antena presenta mejores prestaciones con respecto a otras que tengan menor ganancia.

- **Ancho de Banda:** Es aquel parámetro de una antena que determina el rango de frecuencias en el que puede trabajar dicha antena proporcionando unas buenas condiciones al enlace de comunicaciones.

4.3.2. Interferencia

Cuando se elabora un diseño de red de comunicaciones inalámbricas se ha de tener en cuenta el efecto de las interferencias sobre los radioenlaces que se van a establecer en dicho diseño.

Las interferencias son capaces de distorsionar tanto la señal que ésta sea incapaz de llegar a su destino final, por lo que es un efecto que condiciona en gran medida cómo va a ser una red de comunicaciones.

Las reflexiones que se producen en algunos tipos de superficies son las encargadas de provocar distorsiones de señal, aunque en algunos casos existen reflexiones que favorecen las mejoras de las transmisiones de señales.

En apartados anteriores se explicó el significado de línea de visión entre dispositivos, este es otro de los factores que determinan el tipo de calidad de un enlace. Vemos las dos situaciones con un poco más de detalle en este apartado:

- **Línea de vista (LOS-Line Of Sight)** se trata de un tipo de enlace de carácter directo en el que la señal es capaz de transmitirse hasta el receptor sin encontrarse con ningún, o casi ningún, obstáculo que pueda distorsionar la señal.

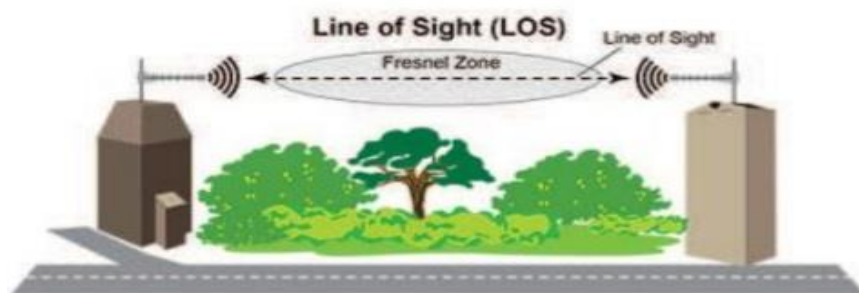


Imagen 13. LOS.

- **Sin línea de vista (NLOS- Non Line of Sight)**, se trata de un tipo de enlace caracterizado por ofrecer múltiples elementos que se interponen entre el dispositivo emisor y receptor.

En estos casos, los sistemas inalámbricos que vayan a tener que funcionar en estas condiciones necesitan proporcionar mecanismos que soporten estos obstáculos y aún y así la calidad de sus radioenlaces no se vea afectada por ellos.

En la siguiente imagen se aprecia que entre ambos dispositivos la zona de Fresnel contiene varios árboles como obstáculos:

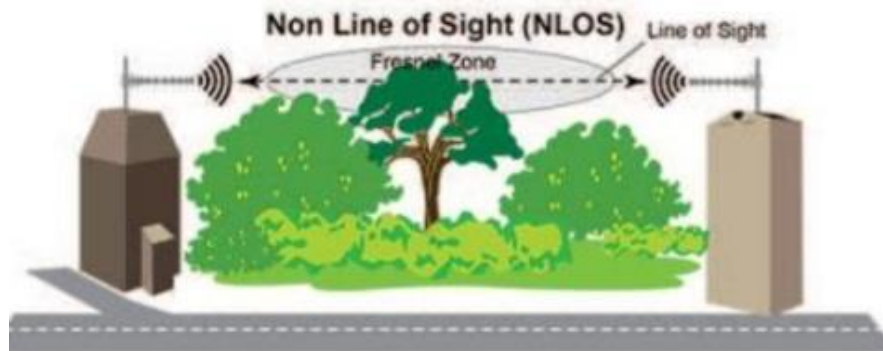


Imagen 14. NLOS.

Zona de Fresnel

La denominada zona de Fresnel, que se ha nombrado anteriormente tanto para los enlaces LOS y NLOS, es la zona por la que se propaga la señal entre ambos dispositivos, emisor y receptor.

Esta zona ocupa un determinado rango superior e inferior de la recta que une a la antena transmisora de la emisora, y para que se considere eficaz la zona de Fresnel ha de tener un 60% de visibilidad sin nada que la obstruya.

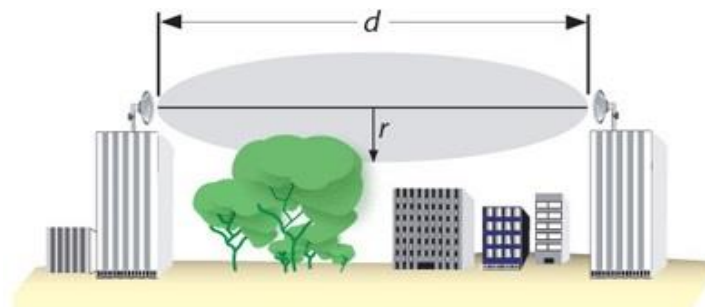


Imagen 15. Zona Fresnel.

4.4. Equipamiento

Para poder seguir con la implementación de la red se debe elegir un equipamiento correcto que sea compatible con el diseño del proyecto. En este caso, se han elegido los siguientes fabricantes a tener en cuenta para todos los equipos necesarios de la red:

➤ **Equipos RADWIN. [6]**

RADWIN es una empresa cuya función es ser proveedor de soluciones inalámbricas, tanto para enlaces punto a punto como punto a multipunto. Además, ofrece sistemas para los enlaces NLOS y mecanismos que disminuyen las interferencias en las comunicaciones. Todos los sistemas RADWIN son capaces de transmitir todo tipo de información, desde datos hasta video y voz.

Gracias a todos estos puntos, además de ser soluciones fáciles de instalar y por tanto, económicas, son de uso habitual en empresas que proporcionan servicios de vigilancia.

Estos son los equipos destacados que se han elegido para el desarrollo del trabajo:

- **Estación Base***

“El equipo **RADWIN 5000 JET**, funciona como estación base y que opera en bandas libres o sin licencia.

Se caracteriza por proporcionar lo siguiente:

- Solución PTM (Punto-Multipunto)
- Esta formada por diferentes antenas sectoriales combinadas entre sí, generando de esta manera una mayor ganancia en el sistema y así, aumentar la capacidad y el alcance del mismo.
- Es posible reemplazar dicho haz de antenas sectoriales por una antena direccional generando así una mayor competencia frente a interferencias.”

- **Unidades CPEs***

“Los equipos **Subscriber Unit (HSU)**, se tratan de una serie de unidades suscriptoras o secundarias que proporcionan una alta capacidad con antena propia para uso en cámaras de seguridad. “

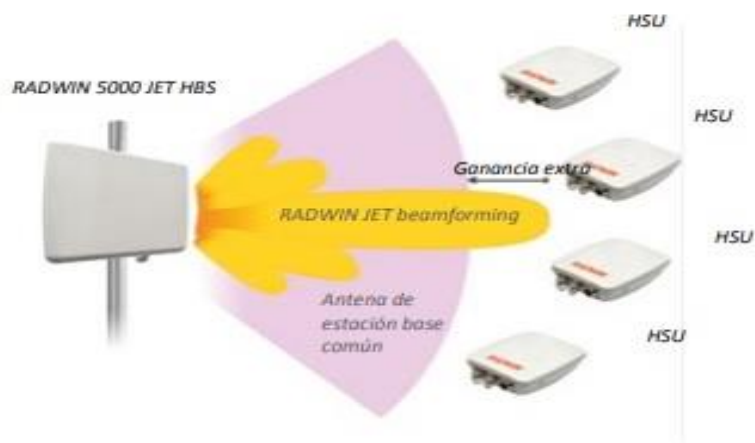


Imagen 16. Elementos RADWIN.

**Tanto las descripciones de los equipos RADWIN como las imágenes han sido sacadas de la página oficial de la empresa RADWIN y de sus catálogos de productos. **

➤ Equipos Albentia Systems *. [7]

Albentia Systems es una empresa española con sede en Madrid cuya función es ser proveedor de soluciones inalámbricas.

Proporciona equipamientos que trabajan en PMP (Punto a Multipunto) que se han desarrollado enfocándose sobre todo para empresas cuya función principal sea la seguridad, por lo que ofrece todos aquellos parámetros necesarios que tendría en cuenta una empresa basada en videovigilancia.

A continuación, se explican todos aquellos detalles de los terminales elegidos para este proyecto:

- **Estación Base*:**

“**ARBA AXS-BS-150-N** es un equipo que funciona como estación base y que opera en la banda de 5.4 GHz, proporcionando aproximadamente 40 Mbps por cada canal de 10 MHz, ofreciendo así una calidad de servicio que equivaldría a las redes por cable.

Este tipo de equipos se caracteriza por proporcionar lo siguiente:

- Bajo consumo.
- Alta variedad de mecanismos de seguridad.
- Alta protección ante interferencias.

- Interoperabilidad con dispositivos (ajenos a Albentia System) que cumplan con el estándar IEEE 802.16.”



Imagen 17. Estación Base Albentia System.

Las especificaciones técnicas son las siguientes:

PARÁMETROS RADIO	
Banda de trabajo	4900-5875MHz
Salto de canal	1MHz
Capacidad neta agregada	35Mbps
Ancho de canal	10 / 7 / 5 / 3.5 / 1.75 MHz
Eficiencia espectral neta	3,5bps/Hz
Sensibilidad BPSK	-92dBm @ 10MHz -99dBm @ 1.75MHz
Sensibilidad 64QAM	-74dBm @ 10MHz -82dBm @ 1.75MHz
Máx. potencia de Tx	23dBm
Antena	Conector N para antena externa
Modulación	OFDM de 256 portadoras
Mod. subportadora	Adaptativa BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM (7 niveles diferentes con combinación FEC)
FEC	Sí, Reed-Solomon concatenado con código convolucional
DFS	Sí
Downlink/Uplink	Desde 90/10 hasta 15/85
Acceso al medio	TDMA síncrono con implementación hardware
Técnica duplexación	TDD (Time Domain Duplexing)
Sincronismo	Sí, para más de un sector con unidad SCU

Imagen 18. Especificaciones técnicas Estación Base

Después de ver las especificaciones se aprecia que no dispone de una antena integrada, por tanto, se añadirá una antena externa que será debidamente explicada más adelante.

Unidades Suscriptoras*:

“**ARBA PRO-SU-1150** es un terminal que funciona como unidad secundaria operando en la banda de 5.4 GHz, proporcionando hasta casi 40 Mbps, los cuales se pueden distribuir tanto para el enlace ascendente como el descendente o dedicar esos casi 40 Mbps a uno de los dos enlaces sin problema, como este proyecto trata de usar estas unidades como transmisoras de la información se destinará el máximo de la capacidad al enlace ascendente.

Por otro lado, la calidad de servicio que proporciona tanto para video como voz IP es muy alta y, además, proporciona múltiples mecanismos que mejoran el nivel de interferencias tales como PBIM, ARQ, TBIM...

Todos estos puntos, convierten a estas unidades suscriptoras en buenos equipos que garantizan el traspaso de información en escenarios con gran congestión espectral.”



The advertisement features the Albentia Systems logo at the top left, followed by the model name 'PRO-SU-1150-23' in a large, bold font. Below this, a horizontal orange bar contains the text 'UNIDAD SUSCRIPTORA aerDOCSIS EN BANDA 5GHz'. To the right of the text are two orange squares of different sizes. Below the orange bar, a list of features is presented in a light orange font, including 'Gran protección frente a interferencias', 'QoS y separación de servicios', 'Capacidad neta 35Mbps', 'Alta eficiencia espectral', 'Control preciso de latencia', 'Full-outdoor', 'Potentes mecanismos de seguridad', and 'Robustez y fiabilidad'. At the bottom left, the text 'CON TECNOLOGÍA aerDOCSIS' is accompanied by a blue signal icon. On the right side, there are two images of the device: a front-facing view showing the 'albentia systems' logo and a side-facing view showing the mounting bracket and ports.

albentia
systems

PRO-SU-1150-23

UNIDAD SUSCRIPTORA aerDOCSIS EN BANDA 5GHz

Gran protección frente a interferencias
QoS y separación de servicios
Capacidad neta 35Mbps
Alta eficiencia espectral
Control preciso de latencia
Full-outdoor
Potentes mecanismos de seguridad
Robustez y fiabilidad

CON TECNOLOGÍA
aerDOCSIS

albentia
systems

Imagen 19. Unidades Suscriptoras Albentia System.

Parámetros Radio Unidades Suscriptoras:

PARÁMETROS RADIO	
Banda de trabajo	4900-5875
Salto de canal	1MHz
Capacidad neta agregada	35Mbps
Ancho de canal	10 / 7 / 5 / 3.5 / 1.75 MHz
Eficiencia espectral neta	3,5bps/Hz
Sensibilidad BPSK	-92dBm @ 10MHz -99dBm @ 1.75MHz
Sensibilidad 64QAM	-75dBm @ 10MHz -82dBm @ 1.75MHz
Máx. potencia de Tx	23dBm
Antena	23 dBi integrada
Modulación	OFDM
Mod. subportadora	Adaptativa BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM (7 niveles diferentes con combinación FEC)
FEC	Si, Reed-Solomon concatenado con código convolucional
DFS	Si
Downlink/Uplink	Desde 100/0 hasta 0/100, fija o dinámica
Acceso al medio	TDMA síncrono con implementación hardware
Técnica duplexación	TDD (Time Domain Duplexing)
Sincronismo	N/A

Imagen 20. Especificaciones Técnicas Unidades Suscriptoras.

**Tanto las descripciones de los equipos Albentia Systems como las imágenes han sido sacadas de la página oficial de la empresa Albentia Systems y de sus catálogos de productos. **

Gracias a toda la información disponible en cada una de las respectivas paginas web de los fabricantes, se han comparado y se ha optado por los equipos **Albentia Systems**. Uno de los puntos decisivos a la hora de elegirlo ha sido la transparencia de toda su información proporcionada en los catálogos de sus correspondientes equipos, especificaciones técnicas incluidas. Por otro lado, también ha ayudado a dicha decisión que se trate de un fabricante con su sede principal en Madrid, ciudad donde se realiza el proyecto, por lo que facilitará todos los trámites necesarios.

- **MS (Distribution) UK. [8]**

Además de todo lo anterior, es necesario obtener una antena de tipo externa para añadirla a los equipos del terminal o estación base.

Esta empresa ha sido escogida, además de porque consigue soluciones para sistemas inalámbricos, por todas las especificaciones técnicas disponibles en su página web que se adecuaban a las necesidades del proyecto.

La antena externa elegida es de tipo sectorial, con un coste de aproximadamente 135€, se denomina Carries Class Sector Antenna y sus especificaciones se muestran a continuación:

Product Details	Product Specifications	
Specifications	General	
Polar Diagrams	Connector	SMA RP Jack
Resources	Impedance	50 Ω
Related Products	Signal Chains	2x2
Support	Elevation Beam Width -3 dB	H 4;V 4 °
	Port to Port Isolation	27 dB
	Azimuth Beam Width -3 dB	H 74;V 74 °
	Gain	19.7 dBi
	Polarisation	Dual Linear
	Polarisation Directions	Horizontal and Vertical
	Antenna Type	Sector
	Frequency Min 2	5450 MHz
	Frequency Max 2	5850 MHz

Imagen 21. Especificaciones Técnicas Antena.

También se muestra a continuación los diagramas de radiación de la antena:

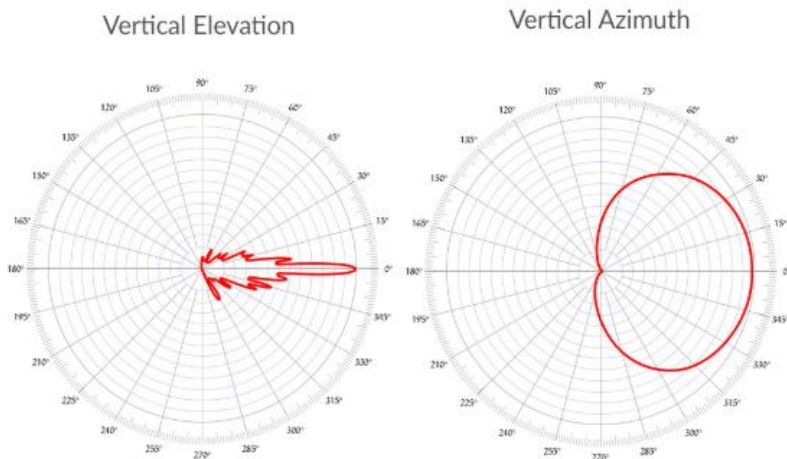


Imagen 22. Polarización Vertical Antena

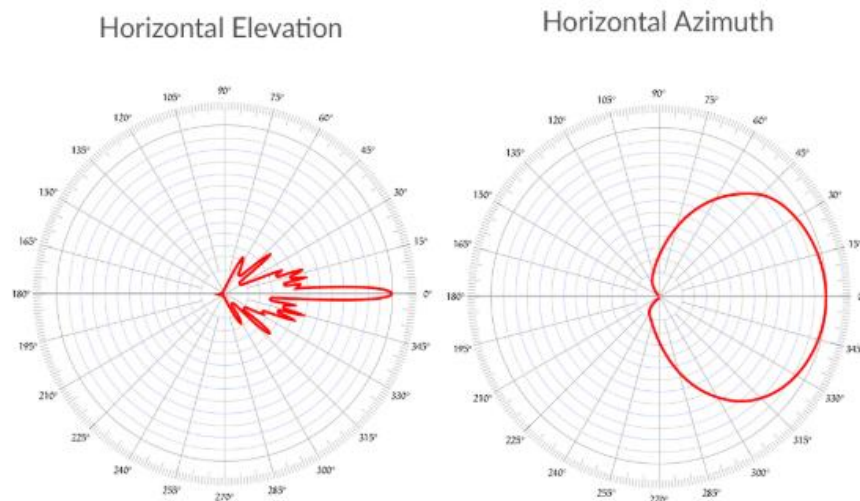


Imagen 23. Polarización Horizontal Antena.

4.4.1. Cámaras IP. [9]

Para este proyecto se ha seleccionado la opción del uso de cámaras IP en vez de la videovigilancia tradicional analógica.

¿Qué son las Cámaras IP? Se trata de aquellas que transmiten información a través de una red IP, utilizando el protocolo IP o protocolo de Internet, siendo éste el mismo que usan las redes de empresas tanto por cable, fibra o inalámbricamente.

En este caso se trata de una red inalámbrica por lo que las cámaras IP se conectaran de esta manera a los puntos de acceso de la red, transmitiendo así toda la información que recopilen, tanto de vídeo como de audio en tiempo real. Además, toda la información almacenada en distintas cámaras IP se puede controlar y gestionar por el personal autorizado que en este caso se encontrará en la estación base central de control.

Cada cámara IP consta de una tarjeta Ethernet para proporcionar conectividad de red y así poder transmitir toda la información.

Como se ha establecido anteriormente en el proyecto, se va a instalar una red inalámbrica mediante la tecnología WiMAX, y combinar las cámaras de seguridad IP con una red inalámbrica es capaz de proporcionar una gran cantidad de ventajas tales como:

- Menores costes de instalación al evitar la existencia de cables en la misma y, en consecuencia, un menor periodo de tiempo para la instalación de la

red de comunicaciones deseada ya que, además, no se necesita obtener ningún permiso para el despliegue de cableado.

- Debido a la ausencia de cables como se comenta en el punto anterior, las cámaras tienen flexibilidad de posicionamiento y pueden ubicarse en diferentes sitios sin estar limitadas por ningún cable.
- Con respecto a la videovigilancia analógica, los sistemas IP ofrecen una característica importante a la hora de grabar contenido. Gracias a su procesamiento digital de imágenes, las cámaras IP pueden grabar sólo cuando ocurran determinados eventos que activen dicha grabación, como sensores de movimiento u otras señales que provengan de sistemas de alarmas externos. De esta manera se evitan grabaciones sin información relevante como sí ocurre en los sistemas analógicos.
- Al utilizar la red inalámbrica en banda sin licencia, menor coste adicional por no depender de operadores móviles.
- Vigilancia a tiempo real en grandes distancias.

Para el diseño en concreto de este proyecto y, en consecuencia, hacer una mejor elección del número de cámaras necesarias y sus correspondientes tipos se definen una serie de detalles para cada comunidad de vecinos:

- Majadahonda: Consta de un conjunto de 4 bloques de edificios con una entrada conjunta más un garaje común para todos los vecinos. Por tanto, se establece que exista 1 cámara en la entrada principal conjunta, 1 cámara/portal y 2 cámaras para el garaje, siendo una de carácter interior y otra exterior.

Total de 7 cámaras IP.

- Alcorcón: Comunidad de vecinos que consta de un solo edificio con entrada común, se necesitan 2 cámaras de vigilancia.
- Móstoles: Comunidad que consta de dos edificios con una entrada común, se necesita por tanto 1 cámara para dicha entrada y 1 cámara/portal.

Total de 3 cámaras IP.

- Fuenlabrada: Igual que el caso de Alcorcón
- Leganés: Igual que el caso de Alcorcón y Fuenlabrada.
- Getafe: Comunidad de vecinos que consta de dos edificios con una entrada y garaje en común, por tanto, se necesita 1 cámara para dicha

entrada conjunta, 1 cámara/portal y 2 cámaras para el garaje, tanto interna como externa.

Total de 5 cámaras IP.

Además, como complemento adicional, cada cámara IP instalada constará de un sensor que detecte posibles incendios para así poder avisar a la central de una posible catástrofe. Aparte de los posibles robos, es necesario cubrir a los clientes de todo lo necesario para su seguridad.

Por otro lado, un parámetro importante que deben proporcionar las cámaras de videovigilancia IP es la seguridad de su información para así evitar que cualquier otro sistema, que no es el que administra los datos de las mismas, capte las imágenes y videos. Por este motivo, este tipo de cámaras tienen mecanismos de cifrado en todas sus transmisiones a la red.

Además, gracias a los grados de protección IP podemos distinguir cuánta seguridad proporcionan las cámaras IP ante agentes externos físicos que puedan afectar a las cámaras como el polvo o líquidos y, de esta manera, elegir de la mejor manera aquel sistema más resistente para la red de comunicaciones que se desea establecer.

Estos grados de protección se expresan de manera alfanumérica siendo IP [primer dígito] [segundo dígito], el 1º dígito expresa la protección de la cámara frente agentes externos como el polvo, establecido por niveles del 0 al 6 siendo este último el de mayor protección. El 2º dígito hace referencia a la protección de la cámara frente al agente externo de la lluvia o agua a presión, ocupa una serie de niveles que van desde el mínimo, nivel 0, hasta el máximo denominado nivel 9k.

En el mercado se pueden encontrar múltiples cámaras IP para diferentes funcionalidades, en este caso se ha elegido el siguiente modelo donde se detallan sus especificaciones a continuación:

- **D-Link DCS-2802KT**: Se trata de un sistema de videovigilancia que consta de una serie de dos cámaras/base inalámbrica, las cuales permiten obtener la grabación tanto de interiores como de exteriores contando además con la certificación IP65.
Se trata de cámaras con una alta resolución, de hasta 1080p que, además, contienen una batería interna recargable para poder proporcionar unos servicios de manera totalmente inalámbrica. Por otro lado, también son capaces de captar audio bidireccionalmente, proporcionan sistemas de alarmas y además se caracterizan por ser compatibles con sistemas tan novedosos como Amazon Alexa y el asistente de Google.



Imagen 24. Sistema videovigilancia

Además de todo lo ya contado sobre cámaras IP, es importante no olvidar que para gestionar, configurar y controlar toda su información se ha de tener configurado un **software específico** (IVMS-4000 V.2) que sea el encargado de realizar todas estas tareas.

4.4.1.1 Software IVMS-4000

Se trata de un software que es capaz de gestionar y controlar toda la información almacenada hasta en 250 dispositivos. Además, es compatible con una gran variedad de sistemas operativos, en este caso se tratará Windows 7.

IVMS-4000 V2 consta de una serie de hasta 70 ventanas de seguridad por las que se pueda controlar lo que retransmiten las cámaras en tiempo real, controlador de alarmas, capaz de configurar todos los parámetros de la grabación, a su vez se pueden realizar capturas de imágenes que sean de mayor relevancia.

Dicho software se debe instalar en los sistemas autorizados de la red de seguridad y de esta manera gestionará las grabaciones, los eventos externos como alarmas determinadas con sus correspondientes avisos vía email, resolución y configuración de las cámaras, controles de acceso específicos...

4.5. Diseño Radioenlaces

Gracias a la fórmula de Friis, ecuación matemática en la cual la teoría de las comunicaciones inalámbricas se apoya, se puede conseguir la viabilidad de determinados enlaces radio. Es decir, consigue hallar la potencia que recibe un dispositivo determinado dependiendo de la potencia que se transmitió desde el emisor y de las pérdidas del espacio libre que hay entre ambas antenas.

A continuación, se muestra la fórmula con sus correspondientes parámetros descritos más adelante:

$$P_R(\text{dB}) = P_T(\text{dB}) + G_T(\text{dB}) + G_R(\text{dB}) + 169.5 \\ - 20 \log_{10}(f) - \underbrace{20 \log_{10}(4\pi)}_{=21.98} - 20 \log_{10}(d)$$

Imagen 25. Formula de Friis

Por otro lado, cabe destacar que esta fórmula se adecúa a enlaces de tipo punto a punto, en los cuales la visibilidad directa entre dispositivos es necesaria y, además, normalmente no disponen de mucho alcance entre las antenas.

Después de ver lo anterior, se puede llegar a la conclusión de que **la fórmula de Friis no es válida** para hallar la viabilidad del diseño de este proyecto.

Se necesitará un sistema más preciso que sea capaz de estudiar la viabilidad de un diseño de red más complejo, por tanto, se utilizará un simulador que proporciona herramientas, que, mediante cálculos determinados, consigue realizar una buena planificación y análisis de el sistema de red de comunicaciones WiMAX en el que se basa este proyecto.

El simulador software elegido para el desarrollo del proyecto ha sido el denominado Rado Mobile, gracias a él se conseguirá obtener, aproximadamente en un 90% de fiabilidad, el alcance de todos los radioenlaces que componen la red de comunicaciones.

4.5.1. Radio Mobile. [10]

En este apartado se realizará el estudio de cobertura mediante el software Radio Mobile.

Se trata de un sistema que fue diseñado para estimar la manera en la que funcionan los sistemas de comunicaciones inalámbricas mediante simulaciones, modelos precisos de análisis, detalles sobre las características del medio, y cálculos que ayudan a obtener el alcance, las potencias transmitidas y recibidas, pérdidas, etc.

Todos estos cálculos consiguen proporcionar una fiabilidad que dependerá de diferentes probabilidades de error.

Este software se basa en el algoritmo Longley-Rice, el cual para todos sus cálculos tiene los siguientes parámetros necesarios:

PARÁMETROS DEL SISTEMA	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Frecuencia 20 MHz a 20 GHz ➤ Distancia 1 a 2000 Km ➤ Altura de las antenas 0.5 a 3000 m ➤ Polarización horizontal o vertical
PARÁMETROS DEL ENTORNO	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 7 tipos de clima ➤ Variable de terreno irregular ➤ Constantes eléctricas del terreno
PARÁMETROS DE INSTALACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Criterio de posicionamiento
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fiabilidad respecto a la variabilidad de tiempo, localización y situación de 0.1% a 99.99%

Una vez se han definido los parámetros necesarios en el sistema se sigue un procedimiento por el cual se consigue obtener la viabilidad de los radioenlaces:

- Situar las coordenadas geográficas.
- Introducir los parámetros que determinan las características de los dispositivos que se van a utilizar para conectar los radioenlaces.
- Se realiza el análisis de viabilidad de cada radioenlace con una fiabilidad mínima del 90%.
- Se han de introducir todos los parámetros necesarios para la configuración de cada sistema de transmisión (frecuencia de trabajo, potencia transmitida, ganancia de las antenas, sensibilidad receptora...)

La topología de este proyecto es parcialmente mallada y a continuación se muestra una representación de la misma mediante una simulación del software Radio Mobile:

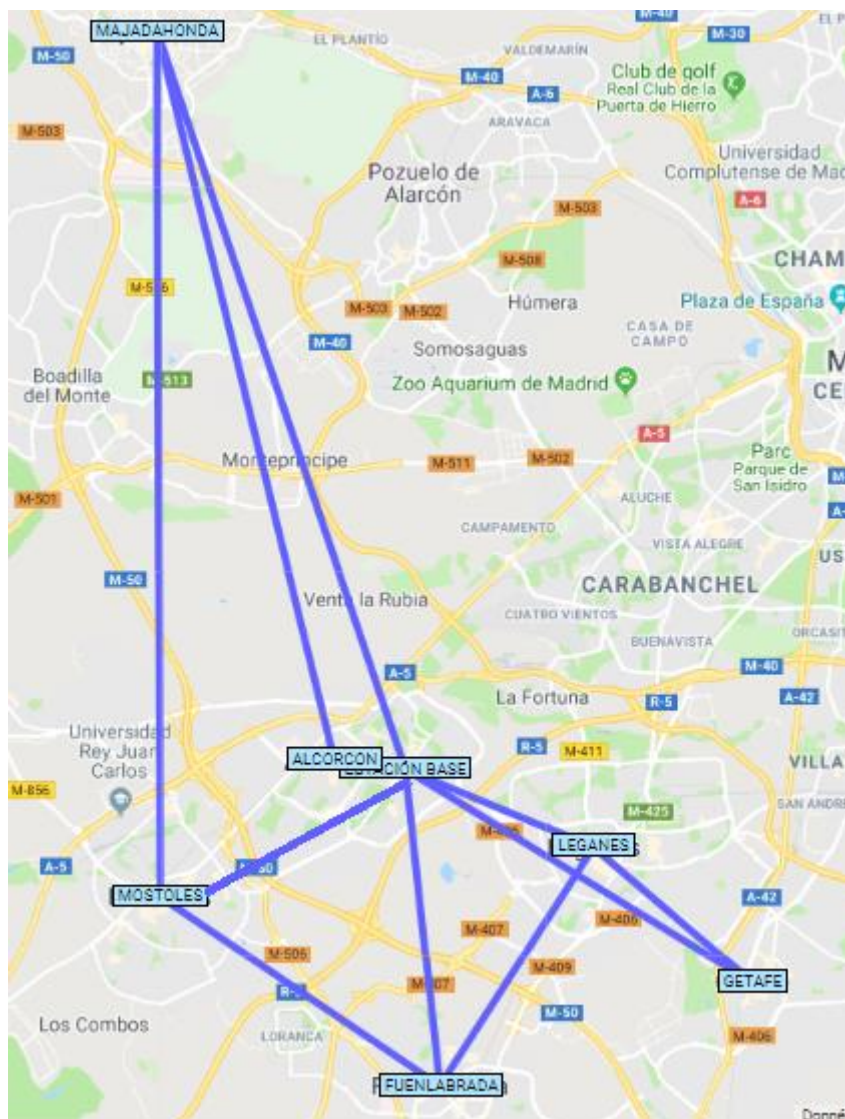


Imagen 26. Esquema General Red WiMAX.

4.5.1.1 Características Radioenlaces

Para la implementación del trabajo práctico del proyecto se establecen las ubicaciones de todos los terminales.

El terminal o estación base se sitúa en Alcorcón y las CPEs se distribuyen en los siguientes puntos:

- ❖ Móstoles (CPE 1)
- ❖ Fuenlabrada (CPE 2)
- ❖ Leganés (CPE 3)
- ❖ Getafe (CPE 4)
- ❖ Majadahonda (CPE 5)

❖ Alcorcón (CPE 6)

A continuación, se muestran los diferentes datos geográficos de cada localidad:

LOCALIDAD	LATITUD	LONGITUD	ELEVACIÓN TERRENO (m)
Alcorcón	40.346845°	- 3. 827844°	723
Móstoles	40.323213°	- 3. 867629°	663.8
Leganés	40.331951°	- 3. 768655°	670.4
Getafe	40.308250°	- 3. 732393°	635.4
Fuenlabrada	40.290206°	- 3. 803548°	667.5
Majadahonda	40.473759°	- 3. 868312°	731.4
Alcorcón (Estación Base)	40.345407°	- 3. 81160679999°	683

Una vez se conoce la ubicación exacta de cada equipo, se debe simular cada radio enlace mediante el software Radio Mobile señalando en Google Earth los puntos exactos e importando los datos a la herramienta, además de añadir también todos los parámetros necesarios para la configuración de todos los equipos y, de esta manera, conseguir una simulación con los cálculos más próximos posibles a la realidad.

Las especificaciones de cada equipo que conforma la red WiMAX se muestran a continuación:

	Unidades Secundarias	Estación Base
Banda de Frecuencias	5470-5725 MHz	5470-5725 MHz
Potencia Máxima de Transmisión	23 dBm	26 dBm
Ganancia antena	23 dBi	20 dBi
Tipo de antena	Directiva	Sectorial
Pérdida Línea de Recepción	0.5 dBi	0.5 dBi
Sensibilidad (BPSK)	-92 dBm	-92 dBm

La elección de la modulación que utilizará esta red de comunicaciones se ha basado en la resistencia que pueda ofrecer frente a las interferencias. En este caso se valoraban tanto la modulación BPSK como la 64 QAM, y debido al criterio descrito anteriormente **se ha elegido la modulación BPSK** y, además de ser la modulación que mejor resistencia ofrece a las interferencias, proporciona mayores distancias de comunicación a los radioenlaces. **La sensibilidad del sistema será de aproximadamente -92 dBm**

Una vez definidos todos los parámetros a utilizar en el software, se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los enlaces:

* En la segunda imagen de cada radioenlace, se ha marcado en verde la potencia o sensibilidad recibida observándose así que todos los enlaces respetan el límite de sensibilidad del receptor, -92 dBm.

La tercera imagen de cada radioenlace es un esquema o escenario donde se puede observar que existe una línea verde que une cada terminal, esto significa que la información puede transmitirse correctamente y de manera eficiente. *

Enlace MÓSTOLES – ESTACIÓN BASE

Radio Mobile

Nuevo enlace

De: MOSTOLES

Altura de la antena (m sobre el suelo): 35 (114.83 ft)

A: ESTACIÓN BASE

Altura de la antena (m sobre el suelo): 30 (98.43 ft)

Descripción: CPE 1 - ESTACION BASE

Frecuencia (MHz): 5725

Potencia Tx(Watts): 0.2 (23.01 dBm)

Pérdida de la línea Tx (dB): 3

Ganancia de la antena Tx (dBi): 23

Ganancia de la antena Rx (dBi): 23

Pérdida de la línea Rx (dB): 0.5

Sensibilidad Rx (µV): 0.5 (-113.02 dBm)

Fiabilidad requerida (%): 90

Imagen 27. Parámetros Radio Mobile

Performance	
Distance	4.275 km
Precisión	10.0 m
Frecuencia	5725.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	20.000 W
Ganancia del sistema	173.53 dB
Fiabilidad requerida	90.000 %
Señal recibida	-78.61 dBm
Señal recibida	26.27 µV
Márgen de escucha	34.41 dB

Imagen 28. Resultados Enlace.

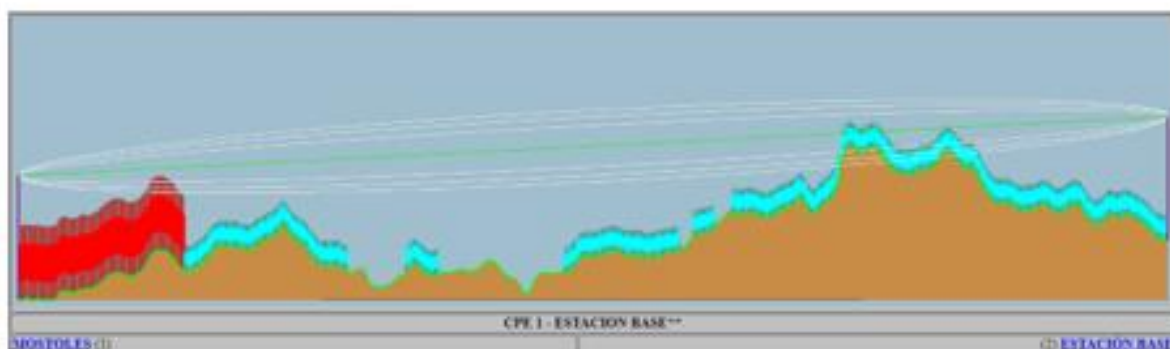


Imagen 29. Escenario Móstoles - Estación Base

Enlace FUENLABRADA – ESTACIÓN BASE

Radio Mobile		
✦ Nuevo enlace		
De	FUENLABRADA	
Altura de la antena (m sobre el suelo)	35	114.83 ft
A	ESTACION BASE	
Altura de la antena (m sobre el suelo)	30	98.43 ft
Descripción	CPE 2 - BS	
Frecuencia (MHz)	5725	
Potencia Tx(Watts)	0.2	23.01 dBm
Pérdida de la línea Tx (dB)	3	
Ganancia de la antena Tx (dBi)	23	
Ganancia de la antena Rx (dBi)	20	
Pérdida de la línea Rx (dB)	0.5	
Sensibilidad Rx (µV)	0.5	-113.02 dBm
Fiabilidad requerida (%)	90	

Imagen 30. Parámetros Radio Mobile.

Performance	
Distance	6.176 km
Precisión	10.0 m
Frecuencia	5725.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	20.000 W
Ganancia del sistema	178.53 dB
Fiabilidad requerida	90.000 %
Señal recibida	-83.51 dBm
Señal recibida	14.94 μ V
Márgen de escucha	29.51 dB

Imagen 31. Resultados Enlace.

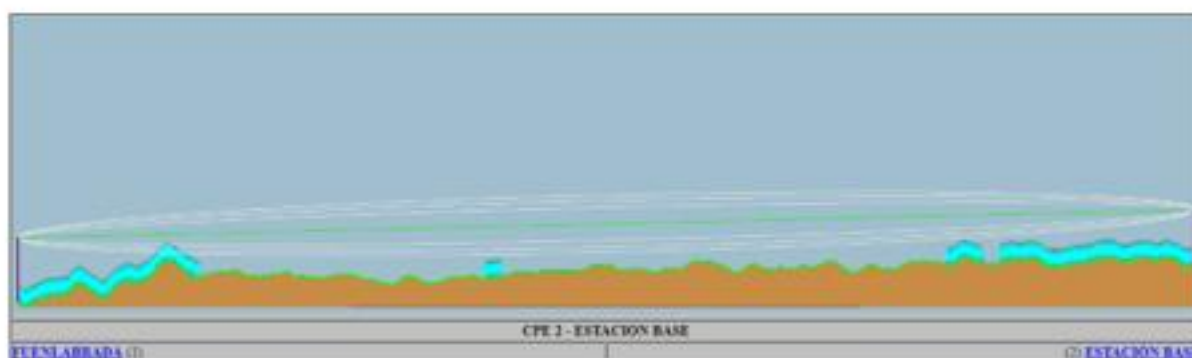




Imagen 32. Escenario Fuenlabrada - Estación Base

Enlace LEGANÉS – ESTACIÓN BASE

 **Radio Mobile**

 **Nuevo enlace**

De

Altura de la antena (m sobre el suelo) 114.83 ft

A

Altura de la antena (m sobre el suelo) 98.43 ft

Descripción

Frecuencia (MHz)

Potencia Tx(Watts) 23.01 dBm

Pérdida de la línea Tx (dB)

Ganancia de la antena Tx (dBi)

Ganancia de la antena Rx (dBi)

Pérdida de la línea Rx (dB)

Sensibilidad Rx (µV) -113.02 dBm

Fiabilidad requerida (%)

Imagen 33. Parámetros Radio Mobile.

Performance	
Distance	5.283 km
Precisión	10.0 m
Frecuencia	5725.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	20.000 W
Ganancia del sistema	173.53 dB
Fiabilidad requerida	90.000 %
Señal recibida	-78.28 dBm
Señal recibida	27.29 µV
Márgen de escucha	34.74 dB

Imagen 34. Resultados Enlace.

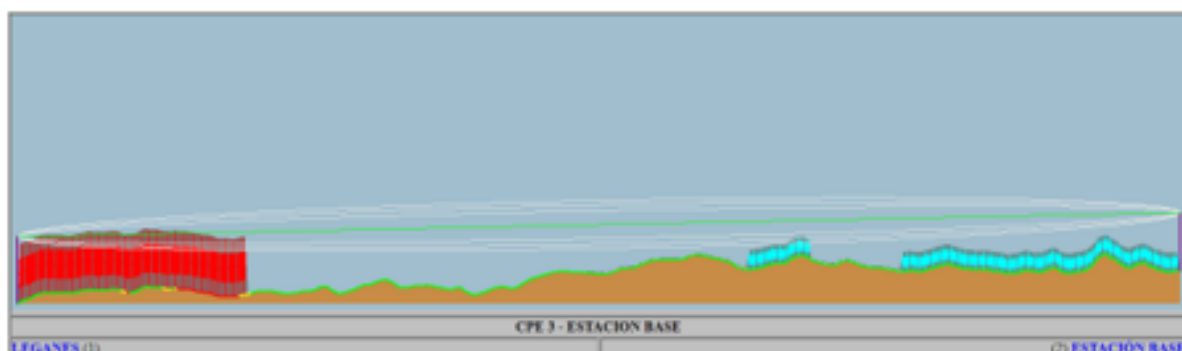


Imagen 35. Escenario Leganés - Estación Base

Enlace GETAFE – ESTACIÓN BASE

Radio Mobile		
Nuevo enlace		
Desde:	CPE 4 - B.S	
De	GETAFE	
Altura de la antena (m sobre el suelo)	35	114.83 ft
A	ESTACIÓN BASE	
Altura de la antena (m sobre el suelo)	30	98.43 ft
Descripción	CPE 4 - B.S*	
Frecuencia (MHz)	5725	
Potencia Tx(Watts)	0.2	23.01 dBm
Pérdida de la línea Tx (dB)	3	
Ganancia de la antena Tx (dBi)	23	
Ganancia de la antena Rx (dBi)	20	
Pérdida de la línea Rx (dB)	0.5	
Sensibilidad Rx (µV)	0.5	-113.02 dBm
Fiabilidad requerida (%)	90	

Imagen 36. Parámetros Radio Mobile.

Performance	
Distance	9.159 km
Precisión	10.0 m
Frecuencia	5725.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	20.000 W
Ganancia del sistema	173.53 dB
Fiabilidad requerida	90.000 %
Señal recibida	-91.83 dBm
Señal recibida	5.74 μ V
Márgen de escucha	21.19 dB

Imagen 37. Resultados Enlace.

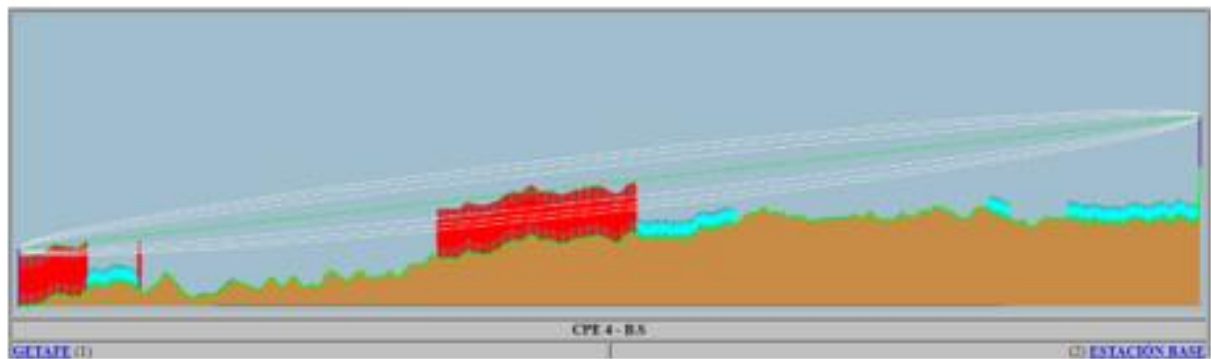



Imagen 38. Escenario Getafe - Estación Base.

Enlace MAJADAHONDA – ESTACIÓN BASE

 **Radio Mobile**

✦ Nuevo enlace

Desde: CPE 5 - BS

De: MAJADAHONDA

Altura de la antena (m sobre el suelo): 35 114.83 ft

A: ESTACIÓN BASE

Altura de la antena (m sobre el suelo): 30 98.43 ft

Descripción	CPE 5 - BS*
Frecuencia (MHz)	5725
Potencia Tx(Watts)	0.2
Pérdida de la línea Tx (dB)	3
Ganancia de la antena Tx (dBi)	23
Ganancia de la antena Rx (dBi)	20
Pérdida de la línea Rx (dB)	0.5
Sensibilidad Rx (µV)	0.5
Fiabilidad requerida (%)	90

23.01 dBm

-113.02 dBm

Imagen 39. Parámetros Radio Mobile.

Performance	
Distance	14.522 km
Precisión	10.0 m
Frecuencia	5725.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	20.000 W
Ganancia del sistema	173.53 dB
Fiabilidad requerida	90.000 %
Señ recibida	-87.84 dBm
Señ recibida	9.08 µV
Márgen de escucha	25.18 dB

Imagen 40. Resultados Enlace.

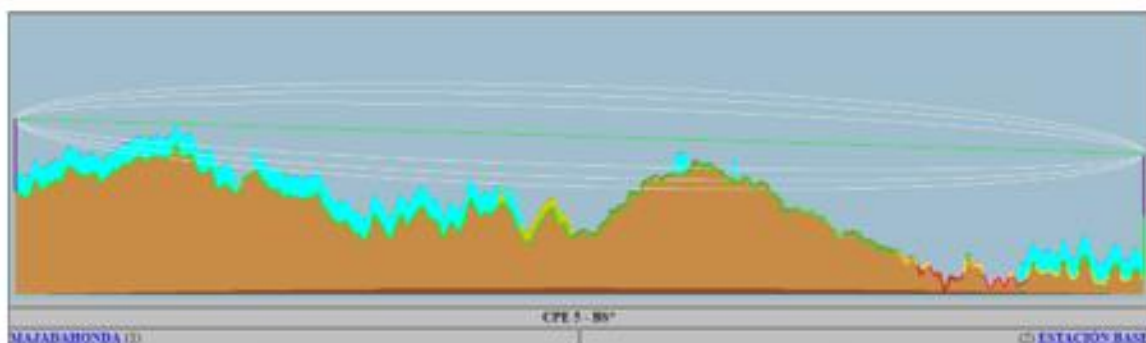


Imagen 41. Escenario Majadahonda - Estación Base.

Enlace ALCORCÓN – ESTACIÓN BASE

Radio Mobile		
✱ Nuevo enlace		
De	ALCORCON	
Altura de la antena (m sobre el suelo)	35	114.83 ft
A	ESTACIÓN BASE	
Altura de la antena (m sobre el suelo)	30	98.43 ft
Descripción	CPE 7 - BS	
Frecuencia (MHz)	5725	
Potencia Tx(Watts)	0.2	23.01 dBm
Pérdida de la línea Tx (dB)	3	
Ganancia de la antena Tx (dBi)	23	
Ganancia de la antena Rx (dBi)	20	
Pérdida de la línea Rx (dB)	0.5	
Sensibilidad Rx (µV)	0.5	-113.02 dBm
Fiabilidad requerida (%)	90	

Imagen 42. Parámetros Radio Mobile.

Performance	
Distance	1.385 km
Precisión	10.0 m
Frecuencia	5725.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	20.000 W
Ganancia del sistema	173.03 dB
Fiabilidad requerida	90.000 %
Señal recibida	-83.35 dBm
Señal recibida	15.23 μ V
Márgen de escucha	29.67 dB

Imagen 43. Resultado Enlace.

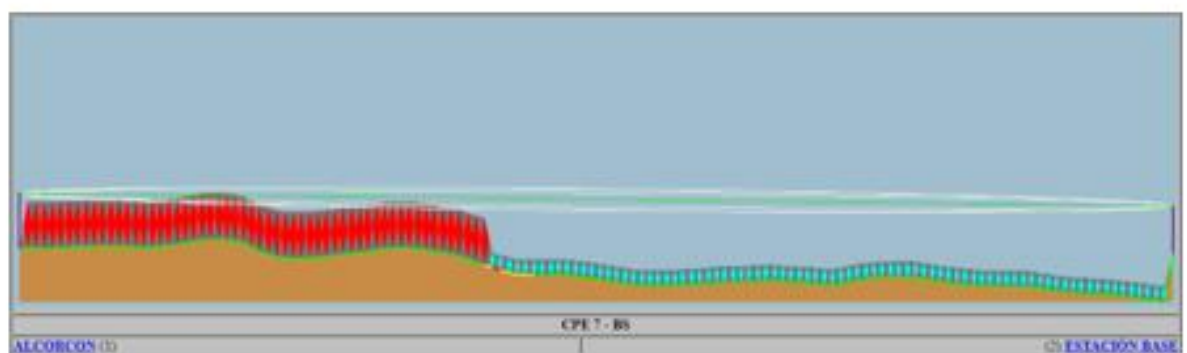




Imagen 44. Escenario Alcorcón - Estación Base

Enlace ALCORCÓN – MAJADAHONDA

 **Radio Mobile**

 **Nuevo enlace**

De ▾

Altura de la antena (m sobre el suelo) 114.83 ft

A ▾

Altura de la antena (m sobre el suelo) 114.83 ft

Descripción

Frecuencia (MHz)

Potencia Tx(Watts) 23.01 dBm

Pérdida de la línea Tx (dB)

Ganancia de la antena Tx (dBi)

Ganancia de la antena Rx (dBi)

Pérdida de la línea Rx (dB)

Sensibilidad Rx (μV) -113.02 dBm

Fiabilidad requerida (%)

Imagen 45. Parámetros Radio Mobile.

Performance	
Distance	14.522 km
Precisión	10.0 m
Frecuencia	5725.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	20.000 W
Ganancia del sistema	178.53 dB
Fiabilidad requerida	90.000 %
Señ recibida	-82.84 dBm
Señ recibida	16.15 μV
Márgen de escucha	30.18 dB

Imagen 46. Resultados Enlace.

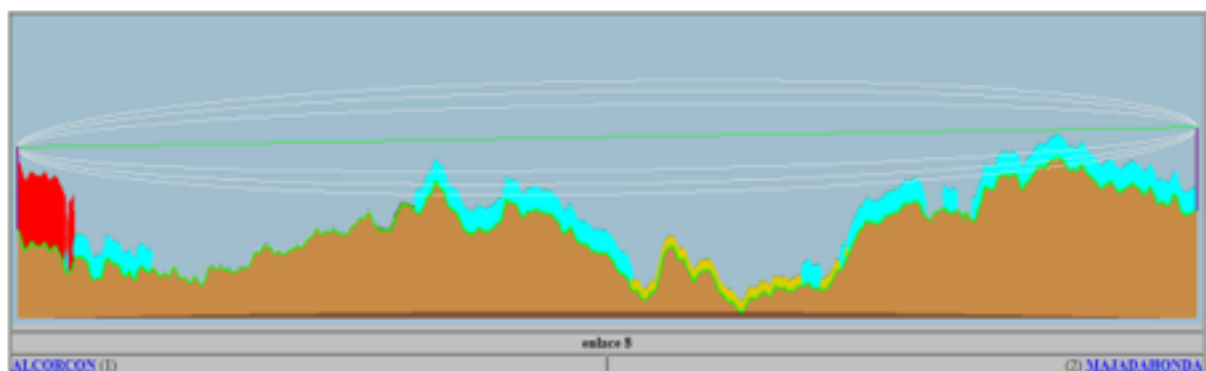


Imagen 47. Escenario Alcorcón - Estación Base

Enlace MAJADAHONDA – MÓSTOLES

Radio Mobile		
✦ Nuevo enlace		
Desde: enlace 3*		
De	MAJADAHONDA	
Altura de la antena (m sobre el suelo)	40	131.23 ft
A	MOSTOLES	
Altura de la antena (m sobre el suelo)	35	114.83 ft
Descripción	enlace 3**	
Frecuencia (MHz)	5725	
Potencia Tx(Watts)	0.2	23.01 dBm
Pérdida de la línea Tx (dB)	3	
Ganancia de la antena Tx (dBi)	23	
Ganancia de la antena Rx (dBi)	23	
Pérdida de la línea Rx (dB)	0.5	
Sensibilidad Rx (µV)	0.5	-113.02 dBm
Fiabilidad requerida (%)	90	

Imagen 48. Parámetros Radio Mobile.

Performance	
Distance	16.740 km
Precisión	10.0 m
Frecuencia	5725.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	20.000 W
Ganancia del sistema	178.53 dB
Fiabilidad requerida	90.000 %
Señal recibida	-87.56 dBm
Señal recibida	9.38 μ V
Márgen de escucha	25.46 dB

Imagen 49. Resultados Enlace.

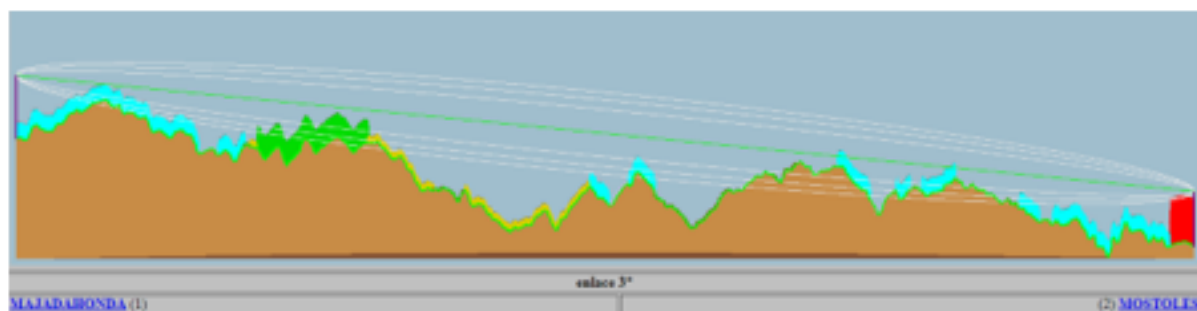


Ilustración 50. Escenario Majadahonda - Móstoles.

Enlace FUENLABRADA - MÓSTOLES

Radio Mobile

Nuevo enlace

De: FUENLABRADA

Altura de la antena (m sobre el suelo): 35 114.83 ft

A: MOSTOLES

Altura de la antena (m sobre el suelo): 35 114.83 ft

Descripción: FUENLABRADA - MOSTOLES

Frecuencia (MHz): 5725

Potencia Tx (Watts): 0.2 23.01 dBm

Pérdida de la línea Tx (dB): 3

Ganancia de la antena Tx (dBi): 23

Ganancia de la antena Rx (dBi): 23

Pérdida de la línea Rx (dB): 0.5

Sensibilidad Rx (µV): 0.5 -113.02 dBm

Fiabilidad requerida (%): 90

Imagen 51. Parámetros Radio Mobile

Performance		
Distance	6.557	km
Precisión	10.0	m
Frecuencia	5725.000	MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	20.000	W
Ganancia del sistema	178.53	dB
Fiabilidad requerida	90.000	%
Señ recibida	-76.63	dBm
Señ recibida	33.00	µV
Márgen de escucha	36.39	dB

Imagen 52. Resultados Enlace.

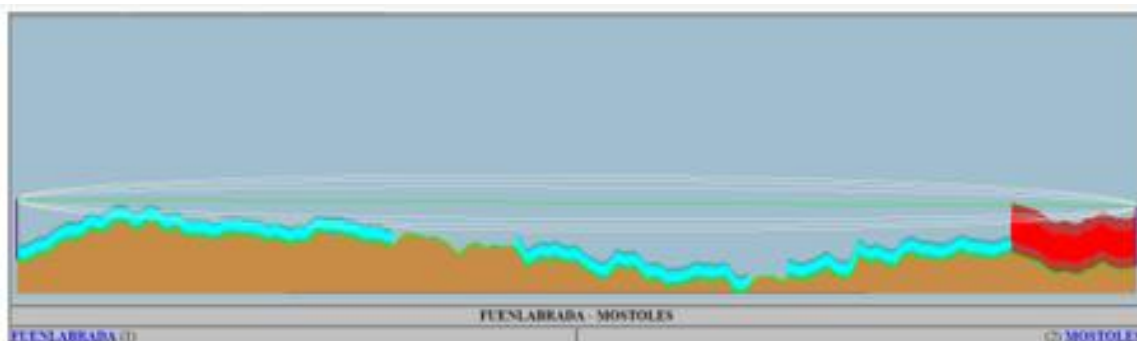


Imagen 53. Escenario Fuenlabrada - Móstoles

Enlace LEGANÉS – FUENLABRADA

Radio Mobile

✦ Nuevo enlace

De

Altura de la antena (m sobre el suelo) 114.83 ft

A

Altura de la antena (m sobre el suelo) 114.83 ft

Descripción

Frecuencia (MHz)

Potencia Tx(Watts) 23.01 dBm

Pérdida de la línea Tx (dB)

Ganancia de la antena Tx (dBi)

Ganancia de la antena Rx (dBi)

Pérdida de la línea Rx (dB)

Sensibilidad Rx (μV) -113.02 dBm

Fiabilidad requerida (%)

Imagen 54. Parámetros Radio Mobile.

Performance	
Distance	5.505 km
Precisión	10.0 m
Frecuencia	5725.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	20.000 W
Ganancia del sistema	178.53 dB
Fiabilidad requerida	90.000 %
Señal recibida	-82.39 dBm
Señal recibida	17.01 μ V
Márgen de escucha	30.63 dB

Imagen 55. Resultados Enlace.

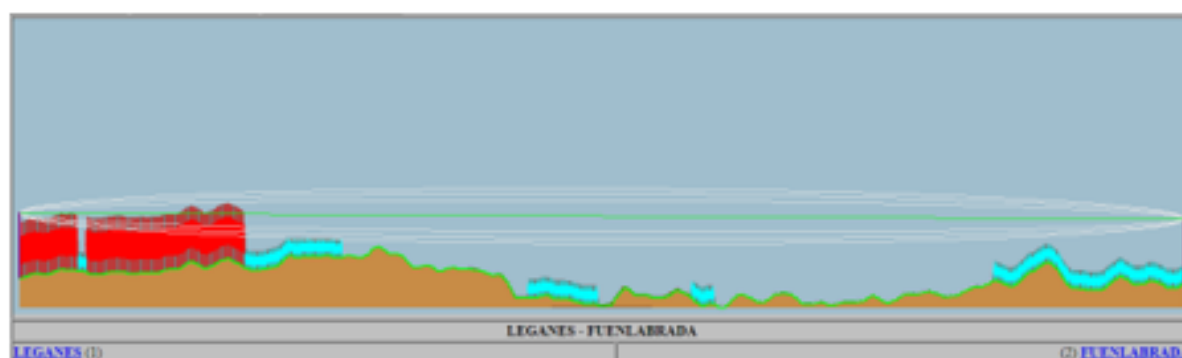


Imagen 56. Escenario Leganés – Fuenlabrada

Enlace LEGANÉS – GETAFE

Radio Mobile

Nuevo enlace

Desde: **Enlace 1***

De: **GETAFE**

Altura de la antena (m sobre el suelo): **35** 114.83 ft

A: **LEGANES**

Altura de la antena (m sobre el suelo): **35** 114.83 ft

Descripción: **Enlace 1****

Frecuencia (MHz): **5725**

Potencia Tx(Watts): **0.2** 23.01 dBm

Pérdida de la línea Tx (dB): **3**

Ganancia de la antena Tx (dBi): **23**

Ganancia de la antena Rx (dBi): **23**

Pérdida de la línea Rx (dB): **0.5**

Sensibilidad Rx (µV): **0.5** -113.02 dBm

Fiabilidad requerida (%): **90**

Imagen 57. Parámetros Radio Mobile.

Performance	
Distance	4.049 km
Precisión	10.0 m
Frecuencia	5725.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	20.000 W
Ganancia del sistema	178.53 dB
Fiabilidad requerida	90.000 %
Señ recibida	-80.02 dBm
Señ recibida	22.34 µV
Márgen de escucha	33.00 dB

Imagen 58. Resultados Enlace.

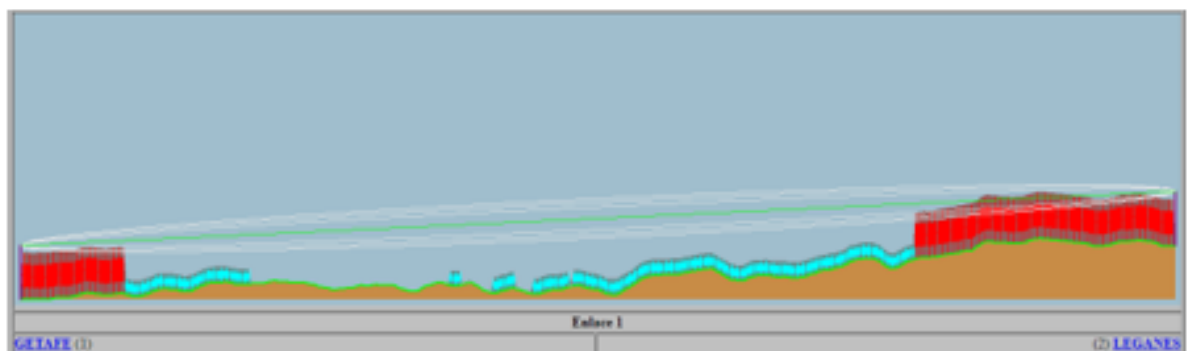


Imagen 59. Escenario Getafe – Leganés

Manteniendo un margen del 90% de fiabilidad que aporta Radio Mobile, se puede llegar a la conclusión de que cada uno de los enlaces que conforman la red de comunicaciones inalámbrica son viables y que, por tanto, toda información transmitida debería llegar en buenas condiciones a cualquiera de los receptores.

5. PRESUPUESTO E IMPACTO SOCIO ECONÓMICO

La función de este apartado es evaluar si el proyecto diseñado es o no rentable para la empresa que lo quiere llevar a cabo y, por tanto, hay que tener en cuenta todos los cálculos, conclusiones y datos necesarios para poder llegar a una decisión.

Por un lado, como este proyecto se debe realizar sin ayuda de operadores móviles la inversión inicial es más alta, pero con visión a futuro, tener una infraestructura propia de comunicaciones sin pagos de tasas mensuales y trabajar en frecuencias de bandas sin licencia, hace que en este sentido el proyecto sea económicamente rentable a medio y largo plazo.

Otro de los puntos importantes de la organización del proyecto es evaluar los gastos de equipamiento y los recursos humanos que realizan el diseño.

Dispositivo	Modelo	Cantidad	Precio Unidad
Base de Operaciones	ARBA AXS-BS-150-N	1	-
CPE	ARBA PRO-SU-1150	6	-
Cámaras IP	D-Link DCS-2802KT	21	198,40 € ~ 200 €
Antena Externa (B.S)	Carrier Class Sector Antenna	1	135 € aprox

El proveedor Albentia Systems no expresa con exactitud cuánto sería el coste tanto de la Base de Operaciones como de cada Unidad individual o CPE, pero se ha podido establecer un coste estimado de 1400 € por radioenlace.

Debido a que se necesitan aproximadamente 11 enlaces de comunicación para la red del proyecto, el coste oscila aproximadamente en 15.400 €.

Página web: www.albentia.com

El coste aproximado para todos los recursos humanos requeridos para la implementación del trabajo se establece en la siguiente tabla:

Recursos Humanos	Coste / Hora	Dedicación (horas)	Coste Total
Alumno	10 €/hora	360 horas	3600 €
Tutor	40 €/hora	100 horas	4000 €
Total	-	-	7600 €

El coste total se puede obtener con el sumatorio de todos los elementos anteriormente nombrados, llegando a una cifra que oscila entre los 25.000 € y los 30.000 € aproximadamente, con posibles variaciones o necesidades.

Rango de coste que entra dentro del presupuesto que se estableció al principio del trabajo proporcionado por la empresa de seguridad.

Por otro lado, en este apartado se trata el concepto de **impacto socioeconómico**, el cual hace referencia a todos aquellos puntos de este proyecto que puedan afectar a cierta parte de la población y/o economía de esta.

Hacer un análisis socioeconómico nace de la necesidad de continuidad de negocio de la empresa, es decir, analiza los posibles riesgos, crecimientos y beneficios, clientes, proveedores y empleados satisfechos...

A continuación, se definen los puntos importantes en los que, analizar el impacto socioeconómico, ayudará a la empresa:

- Muestra los beneficios que obtiene trabajando en bandas sin licencia, de manera legal, efectiva y económica. Por lo que es capaz de dar ejemplo a otras empresas más pequeñas que no quieran necesitar el uso de grandes operadoras para funcionar. Además de los beneficios propios de la empresa en cuestión, también se muestran los beneficios para los clientes ya que el diseño será más económico.
- Medir o analizar el impacto socioeconómico también ayuda a mostrar las políticas de regularización del espectro radioeléctrico como rentables y eficientes, y de esta manera se han impulsado ideas favorecedoras consiguiendo así el diseño de este proyecto.
- Por otro lado, el análisis del impacto socioeconómico también se centra en identificar posibles riesgos que lleguen a afectar a la organización, en este caso podría decirse que la fiabilidad no es tan fuerte en este proyecto como si se tratase de un operador móvil en vez de bandas sin licencia.
- Además de todo lo anterior, una vez se llegase a desarrollar el diseño del proyecto, se vería si ha acabado convenciendo a los clientes y si hay más de ellos que quieran seguir confiando, de esta manera, se vería la rentabilidad real.

5.1. Propuesta de Mejora

Dentro de este apartado se ha decidido implementar una determinada mejora que, bajo un punto de vista objetivo, tiene cierta relevancia.

Dicha mejora tiene que ver con la continuidad de negocio, es decir, todas aquellas herramientas disponibles para mantener el negocio a flote a pesar de que ocurran determinados imprevistos o incidentes.

Un incidente probable en este proyecto podría ser el fallo de alguno de los radioenlaces, la estación base tuviera problemas y dejase de funcionar y de llegarle información, algún incidente con las antenas, proveedores indisponibles, etc.

Por todas estas y más posibles situaciones se deberían implantar diferentes elementos alternativos para cada sistema fallido. Esto provoca que el presupuesto del diseño aumentase en el doble, y por esto quizá no es una mejora al alcance de cualquier empresa, pero sin embargo otorgaría una gran capacidad de soporte y una fiabilidad muy alta, ya que además este proyecto está orientado para una red de seguridad por lo que es muy necesario que existan alternativas si algo fallase y, así, no hubiera peligro de perder la señal para obtener toda la información necesaria que recoge la estación base.

Además de todo esto, es necesario establecer unos planes de continuidad donde se recojan todas aquellas medidas que serán protagonistas si alguno de los sistemas anteriores fallase y, de esta manera, poder solventar el problema con una mayor agilidad que si no existiera dicho plan.

Como el presupuesto ascendería a una cantidad más alta, no se ha implementado esta mejora al proyecto, pero se cree que es algo bastante importante a tener en cuenta como propuesta.

6. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

Este apartado se centra en visualizar la gestión y análisis del tiempo dedicado al proyecto por parte del alumno.

Para ello, se hará uso de la herramienta Diagrama de Gantt, la cual provee de una tabla o matriz que proporciona los datos concretos de las actividades que se han llevado a cabo a lo largo del trabajo y el tiempo estimado para su desarrollo.

De esta manera se obtendrá un cronograma muy visual y, de esta manera, poder conocer con mayor detalle los requerimientos temporales del trabajo a desempeñar.

En este diagrama puede haber diferentes tipos de actividades:

- Actividades Independientes
- Actividades Relacionadas entre sí o Dependientes.
- Actividades Simultáneas.
- Sub-Actividades, las cuales pertenecen a una Actividad Concreta.

Para elaborar un buen Diagrama de Gantt debe haber una organización previa para identificar todas las actividades que se llevarán a cabo, el orden de las mismas en el tiempo, estimar su correspondiente tiempo de ejecución y, además, establecer la unidad de tiempo de referencia.

Como bien se ha indicado anteriormente, primero de todo se han de establecer y enumerar, de manera ya ordenada, todas las actividades:

- Actividad 1: Búsqueda de Información general sobre todas las Tecnologías Inalámbricas posibles para la realización del proyecto.
- Actividad 2: Búsqueda de Información sobre regulación del espectro radioeléctrico.
- Actividad 3: Búsqueda Información Específica de Tecnologías Inalámbricas elegidas.
- Actividad 4: Escribir memoria sobre todo lo relacionado a las Tecnologías Inalámbricas, WiFi y WiMAX.
- Actividad 5: Búsqueda de herramientas para desempeñar el caso de estudio.
- Actividad 6: Búsqueda Información General y Específica de Antenas.
- Actividad 7: Realización Caso de estudio con herramienta Radio Mobile.
- Actividad 8: Escribir todo lo relacionado con antenas en la memoria del proyecto.
- Actividad 9: Realización del Presupuesto.
- Actividad 10: Realización de Marco socioeconómico.
- Actividad 11: Conclusiones, Objetivos y Resumen sobre el proyecto en inglés.
- Actividad 12: Definición de todas las referencias bibliográficas del trabajo.

A continuación, se procede a establecer las relaciones entre las distintas actividades anteriormente enumeradas:

- Actividad 1 y Actividad 2: **Simultáneas**
- Actividad 3 **Dependiente** de Actividad 1
- Actividad 4 **Dependiente** de Actividad 3
- Actividad 5 y Actividad 6: **Simultáneas**
- Actividad 7 **Dependiente** Actividad 5
- Actividad 8 **Dependiente** Actividad 6
- Actividad 9, Actividad 10 y Actividad 11: **Independientes**
- Actividad 12 **Dependiente** Última Actividad (Actividad 11)

Una vez se han elaborado estos dos pasos, se puede pasar a la cumplimentación del diagrama de Gantt para poder apreciar todo de una manera más visual.

Nombre Actividad	Duración	Diciembre				Enero				Febrero				Marzo			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Actividad 1	1 semana																
Actividad 2	1 semana																
Actividad 3	2 semanas																
Actividad 4	4 semanas																
Actividad 5	1 semana																
Actividad 6	2 semanas																
Actividad 7	3 semanas																
Actividad 8	1 semana																
Actividad 9	1 semana																
Actividad 10	1 semana																
Actividad 11	3 semanas																
Actividad 12	1 semana																

7. FINAL CONCLUSIONS

7.1. Project Goals. Summary

This section details the all objectives of this project, it is to design a wireless communications network for a security company that is capable of transmitting the information of all the security cameras to station operations and control center.

The main objective that has been presented in the project is to simulate the implementation of a communications network for a security company (video surveillance cameras, anti-intrusion systems ...) using wireless technologies, working in frequency bands without a license, such as optimal solution for neighborhood communities that use this service.

For this, Wi-Fi and WiMAX technologies have been analyzed more specifically.

The objective of this project, as explained above, is the implementation of a simulation design of a network that contains different radio links that exchange information with each other. These links are located in different parts of the Madrid community and the company's operations center, which is the one that receives, manages and controls all the information. In addition, the neighboring communities must also be interconnected so that there is greater security of the system since, even if some link fails, the information will have less chance of being lost and, therefore, arrive correctly at the destination.

7.2. Terms

Some of the different requirements that should form the network:

- Provide a network which guarantees bandwidth, high stability, a good sensitivity receiving equipment to provide a better scope of the system.
- Do not use mobile operators.
- Use unlicensed frequency bands.
- Partially Meshed topology.
- The available companies Budget for this project ranges between 30,000-€35,000, the project design must be adapted to this requirement.

Firstly, it is important to note that the main objective of this project was to demonstrate that it is possible to carry out a wireless communications network without resorting to mobile operators.

This purpose has been achieved thanks to demonstrate that there is the possibility of implementing the communications network for free thanks to existing unlicensed frequency bands.

In this way, one of the most striking conclusions is that this Project provides a great advantage over other possibilities of deployments, doing that this way has been achieved much more cheap and affordable for all those wishing to design an own communication network.

On the other hand, when using unlicensed frequency bands it can be to achieve the objective referred to the budget of the project.

Other requirements set by the project is the design of the network through a partially meshed topology. Due to the Exchange of data a series of devices that form a network, and each other, a communications link is needed to get all the information possible.

This process is called network topology and, in this case, mesh topology has been chosen because it is one of the most advantageous since it has a high efficiency in transmitting information within the network. This topology consists of interconnecting a large number of nodes with each other. Each one of them joins with the others, and in this way it is achieved that all the devices of the network are connected to each other, avoiding the possible loss of information that would suffer other types of topologies.

A series of advantages and characteristics are listed on the mesh topology:

- **Information flow is constant.**
As previously explained, since all the nodes are connected to each other, there is a constant flow of information, thus avoiding the loss of data packets.
- **Reliable system.**
Since all the devices are connected to each other, communication can be carried out without problems, so that by not losing information along the way, the communication network through meshed topology is a stable and reliable system.
- **Security for users.**
Due to there are different ways to carry out the exchange of data and in this way it is ensured that communication and access to information can always be carried out constantly.
- **Optimal economic option.**
It saves especially in the maintenance of the network. This is because in the absence of a central node, if a problem occurs in any of the servers, it would not be necessary to establish a network fix entirely, but a maintenance focused on the failed device.

7.3. Project Developing

As previously discussed in the project, the viability of this communications network design has been proven by the freely distributed software called Radio Mobile.

Said software is used for the calculation of medium and long-distance radio links that are found in irregular areas.

To perform these calculations, you need both geographic and specific information on the radio links, for example, transmission power, details related to the antennas to be used, the sensitivity of the receiver ...

The basis of calculation of this software is the Longley-Rice model. In the next section we will talk more in detail about this model.

➤ Longley-Rice Model.

It is a mathematical model that was developed around 1970 and consists of the ability to obtain calculations of the type of propagation for point-to-point links.

In addition, it is oriented It is a mathematical model that was developed around 1970 and consists of the ability to obtain calculations of the type of propagation for point-to-point links.

In addition, it is oriented for communications that use frequencies greater than 20 MHz and for links of long distances, and consequently, takes into account the problems that may exist between two points that are far apart, such as irregularities in the terrains. , interferences caused by buildings or trees, etc. for communications that use frequencies greater than 20 MHz and for links of long distances, and consequently, takes into account the problems that may exist between two points that are far apart, such as irregularities in the terrains. , interferences caused by buildings or trees, etc.

It can also be considered a statistical model in which many parameters are taken to obtain the losses caused in radio links, such as: Frequency of transmission, total distance, polarization of antennas, antenna heights, dielectric constant of the ground, meteorological conditions ...

- **Frequency:** the range of nominal frequencies for the model varies between 20MHz and 40GHz.
- **Antenna height:** height at which the antenna is placed above the level of the sea, to transmit and receive. The program will compute the effective heights needed to adjust to the calculations of the model.
- **Polarization:** must be specified if working with horizontal or vertical polarization. The kind of Longley-Rice assumes that both antennas have the same polarization, vertical and horizontal.

Thanks to the use of this tool, in this project it was possible to reach the conclusion that all the links were viable with 90% reliability. This percentage of reliability is very high to be able to provide an overview of what could happen in reality since the Radio Mobile tool and the Longley-ricce model are characterized by very well simulating all the real difficulties with which the radio links are. It is also free to use and this provides an economic benefit to the project.

7.4. Last conclusions

Thanks to everything studied previously:

- Type of Radio links.
- Type of frequency bands in which the communications network operates.
- Type of network topology.
- Characteristics about the cameras to be used.
- Characteristics about the antennas that will be used.
- Tool or software with which the simulation will be developed.
- Total budget of the project.
- ...

It has been possible to reach the final conclusion that it is a viable project with 90% reliability in terms of radio links. With a budget that adjusts to the total of the expenses that supposes the design of this work, as much by the purchase of the materials as of the manpower.

And thanks to the study of wireless technologies it has been possible to reach the conclusion that it is a good idea to use WiMAX, due to all the advantages it presents with respect to Wi-Fi. Both for the scope of the link and for the security of the information that will travel through the radio links.

In addition to all this, the conclusion of the use of free frequency bands with respect to those licensed for cases like this one, can become a very good option with good conditions of both security and link quality. Avoiding the use of mobile operators. And therefore, fulfilling all the initial requirements of this project.

7.5. Proposals for improvements

After analyzing the entire project, it can be concluded that a wireless technology that works in band frequencies is quite stable and you can find connections that are solid and robust, as well as secure. But this does not mean that there are no points of improvement.

One of those points of improvement is the **reliability** of the links, since thanks

to the radio mobile software we could see that each radio link had a reliability of 90 percent, but for a security system it is something scarce, being necessary almost 100 percent of stability and reliability.

Another point that must be dealt with is the use of the frequency bands without a license used for the realization of this work.

On the one hand it should be noted that the unlicensed frequency band provides a large series of advantages such as:

- Lower cost.
- Greater interoperability.
- Good scalability

But without a doubt, it has a series of disadvantages or disadvantages that are necessary to take into account for this point of improvement.

- The unlicensed radioelectric spectrum can be used by multiple radio frequency services and, therefore, **interferences** occur.
- Another point related to the previous one, is that WiMAX uses a mechanism called DFS (Dynamic Frequency Selection) which consists of a change of channel when one of them saturates or intercepts many interferences, this may favor the problem of interferences but, on the other hand, it causes **latency** in real-time communications.
- Another of the most important points is to take into account that being a band without a license, there is a very **powerful competition** when deploying a communications network as more people are interested in a similar deployment.
- And, finally, another of the points that could be improved with respect to the use of unlicensed bands is the power limitation that is required, since state agencies specify a power limit transmitted by devices that work in this type of frequency band.

For all these reasons, it could be established that this project has weaknesses with respect to the use of unlicensed bands, which on the other hand have already been seen as contributing a series of considerable advantages that meet the requirements of this project, at least quite appropriately.

8. ANEXO BIBLIOGRAFICO

[1] Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias:

<https://www.ure.es/cnaf-cuadro-nacional-de-atribucion-de-frecuencias/>

Última visita: 22/12/2018

[2] Blog: “Aprendiendo Arduino” (5 marzo 2018):

<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/banda-ism/>

Última visita: 03/01/2019

[3] Isidro Ros. Página web (17 marzo 2019):

<https://www.muycomputer.com/2019/03/17/estandares-wi-fi-nuevos-nombres/>

Última visita: 25/01/2019

[4] Blog WiMAX:

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70427/fichero/4.+Redes+WiMAX.pdf>

Última visita: 10/02/2019

[5] PEDRO RUESCA. (2016) “Radio Comunicaciones”:

<http://www.radiocomunicaciones.net/radio/teoria-de-antenas/>

Última visita: 15/02/2019

[6] RADWIN:

<https://www.radwin.com/es/>

Última visita: 05/03/2019

[7] Albentia Systems:

http://www.albentia.com/index_ES.php

Última visita: 05/03/2019

[8] MS Distribution uk:

<https://www.msdist.co.uk/>

Última visita: 05/03/2019

[9] Blog: Redes Zone. Análisis de Cámaras IP:

<https://www.redeszone.net/camaras-ip/>

Última visita: 10/03/2019

[10] Radio Mobile:

https://www.ve2dbe.com/rmonline_s.asp

Última visita: 20/03/2019